

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

DISSERTAÇÃO

**Utilização de Composto Orgânico na Fertilização de
Brócolis e Efeitos no Desenvolvimento da Hérnia das
Crucíferas**

Laura Carine Candido Diniz Cruz

2023



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

**Utilização de Composto Orgânico na Fertilização de Brócolis e
Efeitos no Desenvolvimento da Hérnia das Crucíferas**

LAURA CARINE CANDIDO DINIZ CRUZ

Sob orientação da professora
Dr^a Margarida Goréte Ferreira do Carmo

E co-orientação do pesquisador
Dr. Carlos Antônio dos Santos

Dissertação submetida como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestra em Fitotecnia**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRRJ, área de concentração em Produção Vegetal.

Seropédica, RJ
Março de 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

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

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

C955u Cruz, Laura Carine Candido Diniz , 1997-
Utilização de Composto Orgânico na Fertilização de
Brócolis e Efeitos no Desenvolvimento da Hérnia das
Crucíferas / Laura Carine Candido Diniz Cruz. -
Seropédica, 2023.
43 f.

Orientadora: Margarida Goréte Ferreira do Carmo.
Coorientador: Carlos Antonio dos Santos.
Dissertação(Mestrado). -- Universidade Federal
Rural do Rio de Janeiro, Fitotecnia, 2023.

1. Brassica oleracea var. italica. 2.
Plasmiodiophora brassicae. 3. cama de aviário. 4.
produção de brócolis. 5. densidade de inóculo. I. do
Carmo, Margarida Goréte Ferreira , 1963-, orient. II.
dos Santos, Carlos Antonio , 1992-, coorient. III
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
Fitotecnia. IV. Titulo.

“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – A autora”.

**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
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 88 / 2023 - DeptFITO
(12.28.01.00.00.00.32)

Nº do Protocolo: 23083.073794/2023-58

Seropédica-RJ, 07 de novembro de 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA
LAURA CARINE CANDIDO DINIZ CRUZ

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestra em Fitotecnia**, no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da UFRRJ, área de concentração em Produção Vegetal.

Dissertação Aprovada em: 14 / 03 / 2023

Dra. Margarida Goréte Ferreira do Carmo, UFRRJ/IA/DFITO

(Orientadora/Presidente)

Dr. Ednaldo da Silva Araújo, Embrapa Agrobiologia

(Membro Interno)

Dr. Maruzanete Pereira de Melo, UFPI

(Membro Externo)

(Assinado digitalmente em 10/11/2023 10:18)
MARGARIDA GORETE FERREIRA DO CARMO
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR
DeptFITO (12.28.01.00.00.00.32)
Matrícula: 1213072

(Assinado digitalmente em 13/12/2023 21:44)
EDNALDO DA SILVA ARAÚJO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 750.960.133-91

(Assinado digitalmente em 15/02/2025 18:09)
MARUZANETE PEREIRA DE MELO
ASSINANTE EXTERNO
CPF: 048.121.816-58

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp>
informando seu número: **88**, ano: **2023**, tipo: **HOMOLOGAÇÃO DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO**, data de emissão: **07/11/2023** e o código de verificação: **838baf7612**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me guiar e dar força para esta jornada.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e ao curso de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade, pelo aprendizado e pela experiência profissional e pessoal a mim proporcionados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES, pela bolsa de mestrado concedida e à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro, FAPERJ, pelo financiamento dos projetos.

À minha orientadora, Dra. Margarida Goréte Ferreira do Carmo e ao meu co-orientador Dr. Carlos Antônio dos Santos, por todo o suporte nesse processo. Agradeço por todo ensinamento, conselhos dados, tempo dedicado e oportunidades proporcionadas ao longo desse tempo.

À banca examinadora pelas contribuições para a melhoria deste trabalho.

Aos integrantes do Laboratório de Epidemiologia e Patologia de Sementes (LabEPS) pelo auxílio primordial nos ensaios, coletas e troca de experiências.

Aos funcionários do Setores de Horticultura e de Grandes Culturas do Departamento de Fitotecnia da UFRRJ, pela disponibilização de material e suporte a montagem dos ensaios em casa de vegetação.

Ao Laboratório de Química e Poluição do Solo e ao Laboratório de Estudos das Relações Solo-Planta da UFRRJ, pelo suporte à realização dos ensaios.

À minha família, meu namorado e meus amigos, por serem essenciais em todo o processo, estando sempre presente, incentivando e dando força.

Ao meu padrinho Emídio Cândido Beserra (*in memoriam*), que infelizmente nos deixou durante esse tempo, mas que até o final me incentivou e acreditou em mim.

Ao Alojamento Feminino da Pós-Graduação, por me proporcionar moradia e amizades, fornecendo aprendizados de âmbito pessoal e profissional.

Agradeço a todos que contribuíram para o desenvolvimento deste estudo.

Muito Obrigada!

RESUMO

CRUZ, L. C. C. D. **Utilização de Composto Orgânico na Fertilização de Brócolis e Efeitos no Desenvolvimento da Hérnia das Crucíferas.** 2023. 43 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Um dos principais entraves ao cultivo regular de brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*) e de outras brássicas é a hérnia das crucíferas, causada por *Plasmodiophora brassicae*. Como as perdas pela doença podem ser agravadas pelas características químicas e físicas do solo e pouco se sabe sobre o efeito de compostos orgânicos sobre o seu desenvolvimento, realizou-se o presente trabalho com os objetivos de: a) ajustar metodologia para estudo do efeito da cama de aviário sobre a cultura do brócolis e sobre a hérnia das crucíferas em ambiente controlado, ajustando a dose ideal de composto e a densidade de inóculo; b) avaliar o efeito da época de aplicação da cama de aviário sobre a intensidade da doença e crescimento e produção de brócolis. Os ensaios foram realizados em vasos em casa de vegetação. Inicialmente, avaliou-se a aplicação de seis doses de cama de aviário compostada, equivalentes a 0, 30, 60, 90, 120, 150 kg de N ha⁻¹, em parcelas inoculadas ou não com esporos resistentes de *P. brassicae* (4,2 x 10⁶ esporos g⁻¹ de solo), em esquema fatorial 6x2 e 4 blocos. No segundo ensaio, testaram-se cinco diferentes densidades de esporos, 1,4 x 10², 1,4 x 10³, 1,4 x 10⁴, 1,4 x 10⁵ e 1,4 x 10⁶ esporos g⁻¹ de solo, sobre a intensidade da doença. Posteriormente, realizaram-se dois ensaios, em solos distintos, testando-se épocas de aplicação da cama de aviário, aos 14 e 7 dias anteriores e no dia do transplantio das mudas, mais um tratamento testemunha com adubação mineral à base de NPK; e parcelas inoculadas com 6,25 x 10³ esporos g⁻¹ de solo ou não inoculadas. A adubação foi dimensionada visando o aporte de 90 Kg de N ha⁻¹. Adotou-se o delineamento de blocos ao acaso em esquema fatorial 4x2. No primeiro ensaio, observou-se alta incidência e severidade da doença devido à alta concentração de inóculo. Nas parcelas não inoculadas, houve aumento no acúmulo de biomassa nas plantas em função da dose, com dose ótima equivalente a 90 kg de N ha⁻¹. No segundo ensaio, identificou-se como adequada, densidade de esporos próxima a 1,4 x 10⁴ esporos por g de solo, proporcionando alta incidência e média severidade da doença. Nos ensaios seguintes, a cama de aviário compostada, independente da época de aplicação, favoreceu o desenvolvimento da doença quando comparado à adubação apenas com fontes minerais. Mas, em parcelas não inoculadas, a cama de aviário favoreceu o acúmulo de biomassa das plantas. Pode-se concluir que a dose de 90 Kg ha⁻¹ de cama de aviário compostada resulta em maior acúmulo de biomassa no brócolis e; que a inoculação com alta densidade de inóculo impede a avaliação de efeitos de adubação sobre o desenvolvimento da planta e da doença. Além disso, a adubação de plantio com cama de aviário, feita em antecedência ou no dia do transplantio, favorece o crescimento do brócolis, mas que este benefício é anulado em solos contaminados com esporos do patógeno por favorecer o desenvolvimento da hérnia das crucíferas.

Palavras-chave: *Brassica oleracea* var. *italica*; *Plasmodiophora brassicae*; cama de aviário; produção de brócolis; densidade de inóculo.

ABSTRACT

CRUZ, L. C. C. D. Use of Organic Compost in Broccoli Crop Fertilization and Effect on the Clubroot Development. 2023. 43 p. Dissertation (Master in Plant Science). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2023.

Clubroot, caused by *Plasmodiophora brassicae*, is one of the main challenges to the broccoli production (*Brassica oleracea* var. *italica*), and other vegetable brassica crops. Since disease losses can be aggravated by soil chemical and physical properties, and little is known about the effect of organic compounds on its development, the present study was conducted with the following objectives: a) Improve current methodology to study the effects of poultry litter on broccoli production and clubroot disease under controlled conditions, by optimizing the ideal compost dose and inoculum density; b) to evaluate the effect of poultry litter application timing on disease intensity, crop growth, and yield. The trials were carried out in pots in a greenhouse. Initially, six doses of composted poultry litter were applied, equivalent to 0, 30, 60, 90, 120, and 150 kg N ha⁻¹ were evaluated, on plots inoculated or not with resistant spores of *P. brassicae* (4.2×10^6 spores g⁻¹ of soil), using a 6x2 factorial design and 4 blocks. The second trial consisted in five different spore densities were carried out, 1.4×10^2 , 1.4×10^3 , 1.4×10^4 , 1.4×10^5 , and 1.4×10^6 spores g⁻¹ soil, on disease intensity. Subsequently, two trials were conducted in different soils, testing poultry litter application timings: 14 and 7 days before transplanting seedling, and on the day of transplanting, alongside a control treatment with mineral NPK fertilization; plots were either inoculated with 6.25×10^3 spores g⁻¹ soil or left non-inoculated. Fertilization aimed to provide 90 kg N ha⁻¹ and followed a 4x2 factorial design in a randomized block design. In the first trial, high disease incidence and severity were observed due to the high inoculum concentration. In non-inoculated plots, biomass accumulation in plants increased with the dose, with an optimal dose of 90 kg N ha⁻¹. In the second trial, a spore density close to 1.4×10^4 spores per g of soil was identified as suitable, resulting in high disease incidence and moderate severity. In subsequent trials, composted poultry litter, regardless of application timing, promoted disease development compared to exclusive mineral source fertilization. However, in non-inoculated plots, poultry litter favored plant biomass accumulation. In conclusion, the dose of 90 kg ha⁻¹ of composted poultry litter results in greater broccoli biomass accumulation; high-density inoculation prevents the evaluation of fertilization effects on plant and disease development. Additionally, pre- or post-transplant poultry litter application enhances broccoli growth but nullifies this benefit in soils contaminated with pathogen spores by promoting clubroot disease development.

Keywords: *Brassica oleracea* var. *italica*; *Plasmodiophora brassicae*; poultry litter; broccoli production; inoculum density.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Efeito da aplicação de diferentes doses de cama de aviário (equivalente a 0, 30, 60, 90, 120 e 150 Kg de N ha⁻¹) em plantas inoculadas ou não com esporos resistentes de *Plasmodiophora brassicae* sobre a altura (A); massa fresca das folhas (B); massa seca das folhas (C); massa seca do caule (D); e massa seca da parte aérea (E) de plantas de brócolis cultivadas em casa de vegetação. Seropédica, UFRRJ, 2021.....21

Figura 2: Efeito de densidade de esporos de *Plasmodiophora brassicae* no solo, avaliada com base na concentração de esporos na suspensão utilizada para inoculação ($10^4, 10^5, 10^6, 10^7$ e 10^8 esporos mL⁻¹) de tal forma a se obter as densidades de $1,4 \times 10^2$, $1,4 \times 10^3$, $1,4 \times 10^4$, $1,4 \times 10^5$ e $1,4 \times 10^6$ esporos por g de solo, sobre a incidência (A); severidade da hérnia das crucíferas (B); volume de raiz sadia (C); e massa seca total da planta (D), em plantas de brócolis. Dados de concentração transformados em Log. Seropédica, UFRRJ, 2022.....24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Caracterização química do composto orgânico à base cama de aviário coletada em granja de corte em 2021 obtido após a compostagem por 60 dias no período de junho a agosto de 2021. Seropédica, UFRRJ, 2021.....	14
Tabela 2: Caracterização química de composto orgânico à base cama de aviário coletada em granja de corte em 2022 obtido após a compostagem por 60 dias no período de maio a junho de 2022. Seropédica, UFRRJ, 2022.....	14
Tabela 3: Resultado da análise química do solo utilizado para enchimento dos vasos em ensaio com doses de composto. Seropédica, UFRRJ, 2021.....	15
Tabela 4: Análise química de fertilidade do solo utilizado para enchimento dos vasos em ensaio com densidade de inóculo. Seropédica, UFRRJ, 2022.....	16
Tabela 5: Atributos químicos do solo dos quatro tratamentos de adubação – solo original sem adubação e após aplicação da cama de aviário aos 0, 7 e 14 dias antes do transplantio (DAAT) das mudas de brócolis. Solo sem calagem e sem suplementação com fertilizante mineral. Setor de Horticultura. Seropédica, UFRRJ, 2022.....	18
Tabela 6: Atributos químicos do solo dos quatro tratamentos de adubação – solo original sem adubação e após aplicação da cama de aviário aos 0, 7 e 14 dias antes do transplantio (DAAT) das mudas de brócolis. Solo com calagem e sem suplementação com fertilizante mineral. Departamento de Solos. Seropédica, UFRRJ, 2022.....	19
Tabela 7: Efeito da inoculação com esporos de <i>Plasmodiophora brassicae</i> sobre a severidade da hérnia das crucíferas; massa fresca da raiz sadia, de raízes com galhas e porcentagem de massa fresca radicular com galhas (PMFH); volume de raiz sadia, de raízes com galhas e porcentagem de volume radicular com galhas (PVH); massa seca total da raiz; número médio de folhas; altura da planta; massa fresca da folha e do caule massa seca da folha, do caule e da parte aérea em plantas de brócolis (cv. Avenger). Ensaio em casa de vegetação com diferentes doses de cama de aviário. Seropédica, UFRRJ, 2021.....	20
Tabela 8: Efeito da interação entre adubação – cama de aviário compostada aplicada aos 14, 7 dias anteriores e no dia do transplantio (0 DAAT, 7 DAAT e 14 DAAT) e adubação mineral em equivalente NPK - e inoculação ou não com esporos resistentes de <i>Plasmodiophora brassicae</i> sobre a severidade da doença; massa fresca da raiz sadia; porcentagem de massa fresca de raízes com galhas; volume de raízes sadias e porcentagem de volume com galhas; e massa seca total de raízes de plantas de brócolis (cv. Coliseu). Solo sem calagem. Ensaio em casa de vegetação do Setor de Horticultura. UFRRJ, 2022.....	26

Tabela 9: Efeito da interação entre adubação – cama de aviário compostada aplicada aos 14, 7 dias anteriores e no dia do transplantio (0 DAAT, 7 DAAT e 14 DAAT) e adubação mineral em equivalente NPK - e inoculação ou não com esporos resistentes de *Plasmodiophora brassicae* sobre a massa fresca e seca de folha, caule e inflorescência; massa seca da parte aérea e diâmetro longitudinal de inflorescência de brócolis (cv. Coliseu). Solo sem calagem. Ensaio em casa de vegetação do Setor de Horticultura. UFRRJ, 2022.....28

Tabela 10: Efeito da inoculação com esporos de *Plasmodiophora brassicae* sobre a severidade média da hérnia das crucíferas, massa fresca da raiz sadia, porcentagem de hérnias com base na massa fresca (PMFH) e no volume (PVH), volume de raiz sadia e massa seca total da raiz em plantas de brócolis (cv. Coliseu). Solo com calagem. Ensaio em casa de vegetação do Departamento de Solos. Seropédica, UFRRJ, 2022.....30

Tabela 11: Efeito da interação entre as épocas de aplicação da cama de aviário compostada por 60 dias: sem a aplicação da cama de aviário, aplicação da cama de aviário no momento do transplantio (0 DAAT), aplicação da cama de aviário aos 7 e 14 dias anteriores ao transplantio (DAAT); e inoculação ou não com *Plasmodiophora brassicae* sobre as massas frescas e secas de folha, caule e inflorescência; massa seca da parte aérea e diâmetro longitudinal de inflorescência de brócolis (cv. Coliseu), cultivadas em casa de vegetação do Departamento de Solos, em solo com calagem, UFRRJ, 2022.....31

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1	Cultivo e importância das brássicas.....	4
2.2	Hérnia das crucíferas	7
2.2.1	Ciclo de vida.....	7
2.2.2	Sintomas	7
2.2.3	Epidemiologia	8
2.2.4	Controle.....	9
2.3	Compostos orgânicos	10
2.3.1	Compostos orgânicos no manejo das culturas agrícolas e controle de doenças	10
2.3.2	Cama de aviário.....	12
2.3.3	Compostos orgânicos x hérnia das crucíferas	13
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1	Obtenção e caracterização dos compostos orgânicos	14
3.2	Avaliação de diferentes doses de cama de aviário	15
3.3	Ajuste de densidade de inóculo de <i>Plasmodiophora brassicae</i>	16
3.4	Efeito da época de aplicação da cama de aviário	17
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1	Efeito de doses de cama de aviário e de inoculação com <i>P. brassicae</i>	20
4.2	Ajuste de dose de inóculo de <i>Plasmodiophora brassicae</i>	23
4.3	Efeito da época de aplicação da cama de aviário	25
4.3.1	Em solo sem calagem	25
4.3.2	Em solo com calagem	29
5	CONCLUSÕES	34
6	REFERÊNCIAS	35
7	ANEXO	42

1. INTRODUÇÃO

A família *Brassicaceae* abrange um grande número de espécies de interesse agrícola e de alto valor econômico. Dentre estas, constam importantes culturas hortícolas como as diferentes variedades botânicas da espécie *Brassica oleracea*, como: brócolis (*Brassica oleracea* var. *italica*), couve-flor (*B. oleracea* var. *botrytis*), repolho (*B. oleracea* var. *capitata*) e a couve-comum (*B. oleracea* var. *acephala*) (FILGUEIRA, 2008; MELLO et al., 2022). A importância econômica e social do cultivo de brássicas no Brasil e no mundo decorre de sua rentabilidade econômica, geração de empregos e seu valor como alimento (FILGUEIRA, 2008; OLIVEIRA, 2015; LIMA et al., 2018). No Brasil, a produção de brássicas hortícolas se concentra em alguns poucos Estados, dentre os quais o do Rio de Janeiro, grande produtor nacional e responsável pelo abastecimento de grande parte da região Sudeste (SANTOS, 2020; PEREIRA et al., 2022).

O cultivo de brássicas requer atenção em vários aspectos, desde a escolha da cultivar e época de plantio, fertilidade do solo e adequada adubação, disponibilidade de água e manejo da irrigação e manejo fitossanitário da cultura visando a redução das perdas por pragas e doenças. Dentre as doenças frequentemente associadas a perdas significativas está a hérnia das crucíferas, doença de importância mundial, com distribuição generalizada nas principais áreas de produção de brássicas no Brasil e no mundo.

A hérnia das crucíferas é uma das poucas doenças de plantas causadas por um protozoário fitopatogênico - *Plasmodiophora brassicae* Woronin (DIXON, 2009a,b). Trata-se de um organismo habitante do solo, biotrófico e com grande capacidade de sobrevivência graças à formação de esporos resistentes de longa persistência no solo, mesmo na ausência de um hospedeiro compatível (DIXON, 2009a; DONALD & PORTER, 2009; BHERING et al., 2020). O principal sintoma da hérnia das crucíferas é a formação de galhas no sistema radicular que resultam em um comprometimento das raízes e assim da absorção de água e de nutrientes e, consequentemente, no subdesenvolvimento das plantas e redução na produtividade.

Desta forma, medidas de caráter preventivo são essenciais. Para áreas já contaminadas, recomenda-se a adoção de ações integradas e preventivas como o uso de mudas saudáveis e de boa qualidade, a rotação de culturas com espécies não-hospedeiras, a limpeza ou lavagem de máquinas e implementos, a correção da acidez e a elevação dos níveis de Ca no solo (SANTOS et al., 2017; SANTOS et al., 2021a; SANTOS et al., 2022b). O controle químico tem sido utilizado, mas, devido à reduzida oferta de princípios ativos registrados - apenas ciazofamida (AGROFIT, 2023), desconhecimento sobre eficiência a longo prazo e o gasto adicional que representa, não deve ser recomendado para uso corriqueiro (COLOMBARI et al., 2018; SANTOS, 2020; SANTOS et al., 2021d).

Desta forma, além das medidas profiláticas, as práticas de manejo do solo e das culturas configuram estratégias fundamentais para o convívio com o patógeno e redução das perdas causadas por ele. Dentre estas práticas de manejo, além da rotação e diversificação das culturas estão aquelas que visam as melhorias das condições físicas, químicas e biológicas do solo, como correção de acidez, elevação dos níveis de nutrientes, principalmente cálcio, e de matéria orgânica. Estas melhorias podem ser alcançadas, no todo ou parcialmente, com a adição de

compostos orgânicos. A aplicação de compostos orgânicos e elevação dos níveis de matéria orgânica do solo tem sido associada à supressão de doenças causadas por patógenos habitantes do solo (HADAR & PAPADOPOLOU, 2012). Este feito tem sido atribuído ao aumento da atividade microbiana do solo, incluindo a ação de microrganismos antagônicos a fitopatógenos e indução de resistência sistêmica nas plantas (MEHTA et al., 2014; BONANOMI et al., 2018). Somam-se a estes efeitos, melhorias das características físico-químicas do solo que resultam em diversos benefícios como retenção de água, aporte de nutrientes e aumento da capacidade de troca catiônica - CTC (TRANI et al., 2013).

Em lavouras de brássicas, e de outras hortaliças, da Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro são, normalmente, feitos contínuos aportes de matéria orgânica com a aplicação recorrente de resíduos da produção aviária – a cama de aviário. O seu uso é fomentado pela alta disponibilidade, facilidade de acesso na região e pelas suas qualidades como fonte de nutrientes, principalmente de nitrogênio (ADAMI et al., 2012; ROGERI et al., 2016; BHERING et al., 2017). No entanto, apesar de sua contínua aplicação não há relatos de supressão de doenças, ao contrário, especula-se uma relação direta entre esta prática e as perdas causadas pela hérnia das crucíferas (BHERING et al., 2017; BHERING et al., 2020). E este efeito adverso estaria relacionado a falhas de manejo como a não correção da acidez do solo e o uso massivo da cama de aviário fresca, ou seja, sem prévia compostagem. A compostagem é uma medida importante por proporcionar maior estabilidade ao material orgânico (BERNAL et al., 2009; BHERING et al., 2017; LIMA, 2019; BHERING et al., 2020; SANTOS et al., 2021a). Outro ponto refere-se à forma como a cama de aviário é aplicada nas culturas: nos sulcos de plantio ou nas covas no ato do transplantio das mudas e/ou em adubações de cobertura ao longo do ciclo das culturas (BHERING et al., 2017; SANTOS et al., 2022b), o que contraria as recomendações técnicas que preconiza intervalo de pelo menos uma semana entre aplicação e transplantio das mudas (FILGUEIRA, 2008; FREIRE et al., 2013; DUARTE et al., 2022).

Em diferentes publicações científicas constam relatos diversos sobre efeitos da adubação orgânica na hérnia das crucíferas, nem sempre concordantes. Ainda, praticamente inexistem informações sobre efeitos da cama de aviário compostada, bem como do efeito de doses e de épocas de aplicação, sobre a intensidade da hérnia das crucíferas e desenvolvimento das plantas de *B. oleracea*. Entre os poucos relatos sobre, constam os de Lima et al. (2022) que avaliaram o efeito de diferentes tempos de compostagem da cama de aviário (0, 15 e 30 dias) sobre a hérnia das crucíferas e notaram redução da severidade da doença somente no tratamento com cama de aviário fresca (compostada por 0 dias).

Tendo em vista o acima exposto e a necessidade de se elucidar as possíveis interações entre manejo da adubação com cama de aviário e o desenvolvimento da hérnia das crucíferas em lavouras de brássicas foi proposto o presente trabalho. O mesmo está embasado na hipótese de que a utilização de cama de aviário compostada e aplicada de forma tecnicamente correta, pode levar à melhoria da fertilidade do solo e do desenvolvimento das plantas e assim reduzir as perdas causadas por *P. brassicae* em plantas de *B. oleracea* e aumentar o rendimento e a qualidade das inflorescências de brócolis.

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar o efeito da adubação de plantio com cama de aviário compostada por 60 dias sobre o desenvolvimento de brócolis e a intensidade da hérnia das crucíferas.

Os objetivos específicos foram:

- 1) Ajustar metodologia para estudo do efeito da cama de aviário sobre a cultura e o patossistema em vasos incluindo: ajuste de dose ideal de composto e da densidade de esporos resistentes do patógeno;
- 2) Avaliar o efeito de época de aplicação do composto, comparado à adubação mineral equivalente em teores de NPK, sobre o desenvolvimento de brócolis e a intensidade da hérnia das crucíferas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Cultivo e importância das brássicas

A família Brassicaceae (= Cruciferae) abrange um grande número de espécies, incluindo várias de interesse agrícola, de tal forma que se constitui a família com maior número de espécies hortícolas (FILGUEIRA, 2008; OLIVEIRA et al., 2018; MELLO et al., 2022). Dentre as diferentes espécies de importância econômica destaca-se *Brassica oleracea* que contém diferentes variedades botânicas com destaque para brócolis (*B. oleracea* var. *italica*), couve-flor (*B. oleracea* var. *botrytis*), repolho (*B. oleracea* var. *capitata*), couve-comum (*B. oleracea* var. *acephala*); couve-chinesa (*B. rapa* var. *pekinensis*); rúcula (*Eruca sativa*); rabanete (*Raphanus sativus*); mostarda (*B. juncea*); nabo (*B. napus*), além da oleaginosa canola (*B. napus* L. e *B. rapa* L.) (FILGUEIRA, 2008; MELO et al., 2016; SANTOS et al., 2021c). Dentre as características típicas das plantas desta família estão: androceu com seis estames tetradínamos, podendo ser numerosos; inflorescência do tipo cacho; e cálice e corola dispostos na forma de cruz, característica esta que embasava o antigo nome da família, *Cruciferae* (HOLTZ et al., 2015).

A espécie *B. oleracea* e suas variedades botânicas são originárias da região da costa do Mediterrâneo e tem como ancestral comum a espécie silvestre *B. oleracea* var. *silvestris*, que se assemelha às plantas de couve-comum (MAY et al., 2007; FILGUEIRA, 2008). As plantas atualmente cultivadas resultam de longo processo de seleção e posterior difusão para os diferentes continentes através de fluxos migratórios (MELO & VENDRAME, 2014; MELO et al., 2016).

O cultivo de brássicas hortícolas é, em geral, feito em pequenas áreas por agricultores familiares. O órgão de interesse comercial em brássicas varia conforme a cultura e inclui folhas, inflorescências, raízes e sementes (FILGUEIRA, 2008; GHINI et al., 2011; TRANI et al., 2015; SANTOS & CARMO, 2020). São plantas de fácil propagação e que requerem poucas práticas de manejo, exceto na colheita, que deve ser cuidadosa e regular (MAY et al., 2007). O cultivo de brássicas gera muitos empregos diretos e indiretos em toda a cadeia, desde a produção das mudas, plantio, colheitas e comercialização e industrialização (MAY et al., 2007; MELO, 2015; MELO et al., 2016).

As plantas pertencentes à família Brassicaceae e ao gênero *Brassica*, apresentam quantidades significativas de glucosinolatos (composto que contém propriedades anticancerígenas), além de substâncias nutricionais antioxidantes como as vitaminas A (betacaroteno), C, E e minerais (Ca e Mg) (GHINI et al., 2011; MELO, 2015; LIMA et al., 2018; SANTOS et al., 2020b). Estas características e a divulgação destas propriedades vem contribuindo para o aumento do consumo de brássicas nos últimos anos (GHINI et al., 2011; MELO et al., 2016; SANTOS et al., 2020b). Dados do último levantamento da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO) indicam uma produção global de couve-flor e brócolis de cerca de 26.918.570 Mg anuais, em cerca de 1.436.815 ha de área e uma produtividade média equivalente a 18,73 Mg ha⁻¹. Os dados também indicam que houve uma duplicação no volume produzido e da área plantada com couve-flor e brócolis na última década (FAOSTAT, 2021).

O Censo Agropecuário de 2017 informa uma produção anual de brócolis no Brasil de cerca de 272.008 Mg, com destaque para as regiões Sul e Sudeste que detêm os maiores valores de produção, cerca de 169.374 e 92.173 Mg, respectivamente (IBGE, 2017). O Estado do Rio de Janeiro é o 4º maior produtor nacional de brócolis, com 21.735 Mg oriundas de 2.746 estabelecimentos produtivos e o maior produtor de couve-flor e de couve-comum (IBGE, 2017).

O faturamento bruto do Estado do Rio de Janeiro com comercialização de brássicas é superior a 169 milhões de reais por ano (PEREIRA et al., 2022).

A produção de brássicas no Estado do Rio de Janeiro está concentrada, principalmente, na Região Serrana (IBGE, 2017; EMATER, 2020) em função das condições climáticas favoráveis ao cultivo (GRISEL & ASSIS, 2015; BHERING et al., 2017) e à longa tradição com o cultivo destas hortaliças. Dentre os grandes produtores do Estado, destaca-se o município Nova Friburgo na produção de couve-flor e de brócolis, com produção de cerca 16.456 e 10.802 Mg, respectivamente (EMATER, 2020; PEREIRA et al., 2022).

O consumo de brócolis tem crescido exponencialmente no Brasil, percebido pelo aumento de produção em cerca de 150% entre os anos de 1995 e 2016 (MELO et al., 2016). No mercado podem ser encontrados dois grupos comerciais de brócolis: ramoso e americano. O brócolis ramoso possui caule de menor diâmetro que produz uma inflorescência apical e várias ramificações laterais que também produzem inflorescências e que permitem colheitas múltiplas ao longo de várias semanas. As inflorescências são pequenas para comercialização e são organizadas em maços com destino ao comércio *in natura*. O brócolis americano por sua vez apresenta inflorescência terminal, única, de maior diâmetro e com botões florais menores, com conformação similar à de couve-flor. Este brócolis é também conhecido como brócolis de cabeça-única, calabreys, japonês ou ninja (MELO, 2015; LIMA et al., 2018; SANTOS & CARMO 2020; SANTOS et al., 2021b; LUENGO & MELO, 2022). As inflorescências de brócolis americano destinam-se tanto ao comércio *in natura* quanto à indústria, seja para processamento mínimo ou congelamento. Apesar da boa aceitação comercial das inflorescências dos dois grupos, a comercialização do americano vem crescendo mais do que o brócolis ramoso nos últimos anos (MELO, 2015; SANTOS et al., 2020b; SANTOS et al., 2021b).

Por serem espécies originárias de regiões de clima temperado, as brássicas se devolvem e produzem melhor quando cultivadas em condições de clima frio a ameno. No Brasil, a maior parte da produção é proveniente das Regiões Sudeste e Sul e são resultantes de cultivos feitos nos períodos e/ou regiões com temperaturas amenas. Estas áreas, na maioria das vezes, situam-se em regiões com altitudes superiores a 800 m (MAY et al., 2007; FILGUEIRA, 2008; GHINI et al., 2011; MELO, 2015).

A cultura de brócolis desenvolve-se melhor quando coincide com períodos com temperaturas entre 20°C e 24°C e entre 15°C e 18°C, antes e depois do florescimento, respectivamente (MELO, 2015). As variações de temperatura afetam o ciclo, o tamanho e a qualidade das inflorescências, a produtividade e longevidade pós-colheita de brócolis (MELO, 2015), além de estar relacionado ao desenvolvimento de distúrbios fisiológicos (SANTOS et al., 2022a). A expansão das áreas de cultivo e das épocas de plantio tem sido possibilitada pelo lançamento de híbridos mais tolerantes a temperaturas acima de 24°C e a climas mais úmidos (SANTOS et al., 2020c; SANTOS et al., 2022a). Como exemplo de cultivares tolerantes a estas condições, Santos et al. (2020c) citam as cultivares Verão Ramoso Piracicaba, Piracicaba Precoce Verão, Ramoso Santana e Piracicaba Precoce do grupo ramoso, e Green Storm e Burney do grupo cabeça única, que apresentaram bom desempenho nas condições de clima quente e úmido da Amazônia Central.

As plantas de brócolis apresentam alta capacidade de extração de nutrientes e em período curto de tempo o que caracteriza a cultura como sendo de alta exigência em fertilidade (MAY et al., 2007; FILGUEIRA, 2008; GUERRA et al., 2013; MELO, 2015; OLIVEIRA, 2015; SANTOS et al., 2020b; SANTOS et al., 2021c). A calagem para correção de acidez deve ser calculada visando a elevação do pH para a faixa de 6,5 a 7,0, redução da solubilidade de Al³⁺ tóxico e elevação dos teores de Ca e Mg (GUERRA et al., 2013; MELO, 2015; LIMA et al., 2018). A calagem também é importante por contribuir na redução das perdas causadas pela

hérnia das crucíferas (*P. brassicae*) (DIXON & PAGE, 1998; SANTOS et al., 2017; SANTOS et al., 2020a).

Dentre os nutrientes mais importantes na cultura do brócolis estão, o nitrogênio (N) e potássio (K) que afetam diretamente a produtividade e a qualidade das inflorescências produzidas. O cálcio (Ca) também está presente em grande quantidade nas inflorescências e nas folhas (DUARTE et al., 2022). Dentre os micronutrientes, destacam-se o boro (B) e o molibdênio (Mo) cujas deficiências prejudicam o desenvolvimento da planta e das inflorescências (FILGUEIRA, 2008; SANTOS et al., 2020b). No entanto, para a cultura do brócolis existem poucas informações sobre curva de extração de nutrientes (DUARTE et al., 2022).

Embora a resposta à adubação esteja associada ao tipo de solo, teor de nutrientes e à cultivar utilizada, existe grande variação quanto às doses de nutrientes prescritas para lavouras de alta produtividade de brócolis: de 100 a 200 Kg ha⁻¹ de N; de 200 a 400 Kg ha⁻¹ de K₂O; 600 a 900 Kg ha⁻¹ de P₂O₅, sendo o P₂O₅ aplicado em dose única no plantio (DUARTE et al., 2022). Em outro cenário, são também prescritos adubos orgânicos, sendo estes a principal fonte de nutrientes nas lavouras da agricultura orgânica (FERREIRA et al., 2013; DUARTE et al., 2022). De forma geral, as brássicas respondem bem a adubação orgânica, sendo muito comum o uso de cama de aviário (FILGUEIRA, 2008).

A implantação da cultura de brócolis é feita através do transplantio de mudas em espaçamentos que variam conforme a cultivar: 100-110 cm x 50-60 cm em cultivares tardias; 80 cm x 40 cm em cultivares precoces (FILGUEIRA, 2008). Na Região Serrana do Rio de Janeiro os produtores, em geral, realizam cultivos mais adensados, predominando espaçamento como 60 x 60 cm (SANTOS, 2020; SANTOS et al., 2021a).

As colheitas das inflorescências de brócolis do grupo ramoso iniciam-se cerca de 90 dias após a semeadura (DAS) e prosseguem por mais 3 a 4 meses, a cada 7 a 10 dias. Em cada colheita são coletadas as inflorescências laterais que são reunidas em maços (MELO, 2015). Já no brócolis americano, a colheita é única e realizada aos 90 a 130 DAS, de acordo com a cultivar utilizada e época de plantio. O ponto de colheita é caracterizado pelo máximo desenvolvimento das inflorescências que devem se apresentar compactas, bem desenvolvidas e com botões florais bem fechados (MELO, 2015; LIMA et al., 2018). Além destes materiais mais tradicionais, já estão no mercado híbridos precoces e superprecoces que permitem colheita antecipada, ou seja, com menos de 90 DAS (SANTOS et al., 2022a).

As plantas de brócolis apresentam sistema radicular superficial e rápido crescimento o que as tornam bastante sensíveis ao déficit hídrico e dependentes de irrigação ao longo de todo o seu ciclo (OLIVEIRA, 2015; MAROUELLI et al., 2017), porém sem excesso, pois não toleram solos saturados (MAROUELLI et al., 2017).

A planta de brócolis, assim como várias outras brássicas, é hospedeira de diversas pragas e fitopatógenos. Dentre as pragas principais estão a traça-das-crucíferas (*Plutella xylostella*); os pulgões (*Brevicoryne brassicae* e *Myzus persicae*); a mosca branca (*Bemisia tabaci*); o curuquerê-da-couve (*Ascia monuste orseis*); a lagarta-medé-palmo (*Trichoplusia ni*) e a lagarta-rosca (*Agrotis ipsilon*) (HOLTZ et al., 2015). Dentre as principais doenças estão a podridão-negra das crucíferas (*Xanthomonas campestris* pv. *campestris*); a podridão-mole (*Pectobacterium carotovorum* subsp. *carotovorum*); a mancha-de-alternaria (*Alternaria* spp.); as galhas radiculares (*Meloidogyne* spp.) e a hérnia das crucíferas (*Plasmodiophora brassicae*) (MAY et al., 2007; FILGUEIRA, 2008; MELO, 2015; BHERING et al., 2017; SANTOS & CARMO, 2020).

2.2 Hérnia das crucíferas

A hérnia das crucíferas é uma doença que ocorre em plantas de diferentes espécies de brassicáceas em todo o mundo. Sua distribuição é hoje generalizada, desde regiões temperadas a regiões tropicais (DIXON, 2009a; BHERING et al., 2017; BOTERO et al., 2019; BHERING et al., 2020). É uma doença causada por *Plasmodiophora brassicae* Woronin, um protozoário parasita obrigatório e que sobrevive no solo na forma de esporos resistentes (DIXON, 2009a; DONALD & PORTER, 2009; BOTERO et al., 2019; BHERING et al., 2020). A doença e o seu ciclo básico, bem como o patógeno e suas principais hospedeiras, foram identificados e descritos em meados do século XIX pelo microbiologista russo Michael Woronin (DIXON, 2014).

2.2.1 Ciclo de vida

O ciclo de vida de *P. brassicae* pode ser resumidamente dividido em três ou quatro fases: germinação do esporo resistente; infecção pelo radicular (infecção primária); infecção do córtex da raiz (infecção secundária) e formação das galhas, onde se formam os esporos resistentes (DIXON, 2009b; KAGEYAMA & ASANO, 2009; VARGAS, 2018).

A germinação dos esporos resistentes de *P. brassicae* é estimulada por exsudados radiculares, especialmente de plantas hospedeiras, quando se dá a liberação de zoósporos biflagelados e móveis (zoósporo primário), sendo um zoósporo por esporo. Os zoósporos se locomovem de forma ativa pelo gradiente de exsudados e filme d'água no solo até atingirem os pêlos radiculares das plantas (VARGAS, 2018; BOTERO et al., 2019), onde injetam seu conteúdo que dará origem ao plasmódio primário. Este plasmódio primário, após clivagens sucessivas, formam os zoosporângios que podem conter de 4 a 16 zóospores secundários (KAGEYAMA & ASANO, 2009). Os zoóspores secundários são liberados na rizosfera ou migram para células adjacentes. Em seguida, reinfectam a planta através de células do córtex radicular ou de células corticais adjacentes às dos pelos radiculares (KAGEYAMA & ASANO, 2009).

O processo de infecção e colonização envolve, dentre outros, a formação dos plasmódios secundários e a indução a alterações no metabolismo celular com consequentes modificações conhecidas como hipertrofia (aumento de tamanho da célula infectada) e hiperplasia (divisão celular no tecido das galhas). Estas alterações levam a um crescimento desorganizado e indiferenciado do tecido e, consequente, formação de galhas radiculares. Os plasmódios secundários passam por sucessivas clivagens que resultam na formação dos esporos de resistência ou de sobrevivência (KAGEYAMA & ASANO, 2009).

Com a senescência e morte da planta inicia-se a degradação das raízes pelos processos de decomposição ou apodrecimento e, consequentemente, também das galhas culminando com a liberação dos esporos resistentes no solo (DONALD & PORTER, 2004; KAGEYAMA & ASANO, 2009; RUARO et al., 2009; BOTERO et al., 2019). Estes esporos resistentes têm alta capacidade de sobrevivência e podem resistir às adversidades do solo por um período de tempo que varia de 3 a 18 anos ou mais (DIXON, 2009b; KAGEYAMA & ASANO, 2009; BASNET et al., 2018).

2.2.2 Sintomas

As galhas radiculares configuram o sintoma típico da doença hérnia das crucíferas (DIXON, 2009a; VIDAL, 2012). A infecção e o desenvolvimento das galhas reduzem o sistema radicular ativo e afetam a atividade do sistema radicular e o processo de absorção de água e de nutrientes (BHERING et al., 2020). A redução do sistema radicular ativo pode desencadear

sintomas secundários como murchas temporárias, que se expressam nas horas mais quentes do dia. Com o avanço da doença podem ser percebidos alterações nas folhas como coloração avermelhada, cloroses e, com o agravamento, necroses e abscisão precoce decorrentes dos distúrbios hídricos e nutricionais (VIDAL, 2012; CONDÉ et al., 2017). Dependendo da severidade da doença podem ser registrados danos que vão de subdesenvolvimento das plantas e quedas de produtividade à morte prematura das plantas (DIXON, 2009a).

Em infecções brandas ou, sob condições adequadas de fertilidade que favoreçam o pleno desenvolvimento radicular, há pouco ou nenhum comprometimento ao desenvolvimento e produção da planta (PENALBER, 2009). A intensidade da doença e as perdas por ela causadas estão diretamente associadas à distribuição, densidade e viabilidade dos esporos resistentes do patógeno presente no solo da área cultivada (BHERING et al., 2020), às condições de ambiente e à suscetibilidade da planta. Quanto maior o tamanho e número de galhas, maior é a produção de esporos resistentes e, consequentemente, a quantidade de inóculo aportado no solo ao final do ciclo da cultura e assim os possíveis danos aos cultivos subsequentes de brássicas (DIXON, 2009b; BHERING et al., 2017). O tamanho das galhas pode variar de milímetros a até mais de 10 cm (REIS, 2009).

2.2.3 Epidemiologia

Dentre as variáveis de ambiente, as que mais afetam o desenvolvimento da doença são os atributos do solo como acidez/alcalinidade (pH); conteúdo de macro e micronutrientes; textura e estrutura; umidade; além de temperatura e da microbiota (DIXON, 2009b; DONALD & PORTER, 2009; VIDAL, 2012; GOSSEN et al., 2014; BHERING et al., 2017; BHERING et al., 2020). O aumento da quantidade de esporos de *P. brassicae* decorre do cultivo sequencial de espécies hospedeiras e a sua dispersão pela movimentação frequente do solo, compartilhamento de máquinas e implementos e erosão do solo (DONALD & PORTER, 2009; VIDAL, 2012; BHERING et al., 2017; BOTERO et al., 2019; SANTOS et al., 2020a; SANTOS et al., 2022b).

O pH do solo é um dos fatores que mais afetam a severidade da hérnia das crucíferas (DIXON, 2009a,b; DONALD & PORTER, 2009; VIDAL, 2012; DIXON, 2014. BHERING et al., 2017; SANTOS et al., 2017; SANTOS & CARMO, 2020). O pH influencia a germinação dos esporos resistentes, a infecção e colonização e o desenvolvimento das galhas (DIXON, 2009b). Donald e Porter (2004) relatam relação direta entre elevação de pH e redução do número de pelos radiculares infectados e, consequentemente, redução da severidade da doença, especialmente em pH acima de 7,2.

Os nutrientes podem afetar o ambiente externo e interferir na interação *P. brassicae* planta hospedeira x ambiente (RUARO et al., 2009). Dentre os nutrientes que mais contribuem para redução da severidade da hérnia das crucíferas está o cálcio (Ca) que, segundo Donald & Porter (2009), fortalece a parede celular de células dos pelos radiculares o que pode reduzir as infecções primárias e, consequentemente, a liberação de zoósporos secundários e a severidade da doença (WEBSTER & DIXON, 1991). Para este patossistema, observa-se efeito sinérgico e complementar do Ca e pH na redução da doença (DONALD & PORTER, 2009). Outros nutrientes como nitrogênio (N) e o boro (B) também podem contribuir na redução da severidade da doença (DIXON, 2009b; DONALD & PORTER, 2009; RUARO et al., 2009; DIXON, 2014). No caso do N, há efeito também da fonte, visto que, fontes amoniacais tendem a acidificar o solo comparado às fontes nítricas (RUARO et al., 2009; DIXON, 2014). A adição de fertilizantes na forma nítrica pode reduzir a severidade da doença e aumentar a produção de massa foliar seca em couve-chinesa (*Brassica rapa* var. *pekinensis*) (RUARO et al., 2009). O B, micronutriente importante na produção de brássicas (DUARTE et al., 2022), tem efeito

semelhante ao do cálcio e também tem sido associado à diminuição da fase secundária do ciclo de *P. brassicae* (DIXON, 2014).

A textura e estrutura do solo também podem interferir na severidade da doença por afetarem a capacidade de retenção de umidade e a formação de filmes de água, assim favorecendo a movimentação dos zoósporos e a sua aproximação do sistema radicular das plantas (DIXON, 2014). Solos de maior densidade, ou seja, mais compactos, têm sido associados à maior severidade da doença (GOSSEN et al., 2016). Para que ocorra a infecção da planta hospedeira, são necessárias condições mínimas de umidade devendo esta ser maior ou igual a 70% da capacidade de campo (REIS, 2009). A temperatura também afeta os processos de infecção e colonização dos pelos radiculares, sendo reportada a faixa de 9 a 30° C como adequada e temperaturas próximas a 22,5°C como a ideal (DIXON, 2009b).

A interação de *P. brassicae* com o ambiente solo perdura por período muito curto – somente no período compreendido entre a liberação dos zoósporos primários até a infecção primária dos pelos radiculares. No entanto, este é o período mais crítico do ciclo de vida do patógeno e o de maior exposição do mesmo aos fatores químicos, físicos e biológicos do solo. Após a penetração das células radiculares e estabelecida a relação patógeno x hospedeiro, o patógeno fica menos sujeito aos efeitos do meio ambiente (DIXON, 2009b). Além do efeito direto dos fatores físicos e químicos do ambiente há o efeito da microbiota, com destaque para a ação antagônica de algumas estirpes de bactérias como *Bacillus* spp. e *Pseudomonas* spp. (DIXON, 2009b). Alguns fungos colonizadores de raízes, como *Heteroeconium chaetospira*, também têm sido relatados como responsáveis pela redução da severidade da hérnia das crucíferas (VIDAL, 2012).

2.2.4 Controle

O controle da hérnia das crucíferas deve ser baseado em um conjunto de medidas integradas, antes, durante e ao final do ciclo da cultura. As medidas preventivas incluem: uso de mudas sadias e de alta qualidade; rotação de culturas com espécies não-hospedeiras; correção de acidez e elevação dos níveis de Ca no solo (DONALD & PORTER, 2009; SANTOS et al., 2021a; SANTOS et al., 2022b); lavagem ou remoção de solo aderido às máquinas e implementos a serem utilizados no cultivo; manejo adequado da irrigação e adoção de práticas de conservação de solo (DONALD & PORTER, 2009; BHERING et al., 2017; SANTOS et al., 2021a; SANTOS et al., 2022b). Durante o ciclo da cultura podem ser adotadas práticas como o *roguing*, eliminação das raízes infectadas e manejo adequado da irrigação e fertilização (DONALD & PORTER, 2009; RUARO et al., 2009).

Em lavouras com plantas infectadas deve-se, ao longo e ao final do ciclo, realizar o arranque e destruição de plantas e raízes com galhas, realizar o pousio ou rotação com espécies não hospedeiras visando reduzir o acúmulo de inóculo no solo (DONALD & PORTER, 2009; RUARO et al., 2009). A duração da rotação de culturas depende da densidade de esporos de resistência no solo, mas a duração mínima é de 4 anos, pois pode levar à uma redução de cerca de 50% da carga de inóculo no solo (REIS, 2009).

O uso da resistência genética como medida de controle é limitado pela pouca ou nenhuma disponibilidade de material genético resistente (DONALD & PORTER, 2009; VIDAL, 2012; BOTERO et al., 2019). O controle químico, apesar de disponível e eficiente, é ainda limitado a um único princípio ativo registrado no Ministério da Agricultura (MAPA) - a cizoflamida (AGROFIT, 2023). Tem se mostrado eficiente no controle da doença em rúcula quando utilizado de forma preventiva (COLOMBARI et al., 2018), porém representa um custo adicional ao produtor (SANTOS et al., 2021d).

A calagem é uma prática básica no manejo de brássicas e uma das que mais contribui para o controle da hérnia das crucíferas, pois, além de elevar o pH do solo, fornece Ca. Quando

bem planejada e realizada, a calagem pode reduzir a acidez do solo, estimular a atividade microbiana e aumentar a disponibilidade de nutrientes (FREIRE et al., 2013; SANTOS et al., 2021). A germinação dos esporos de *P. brassicae* é drasticamente reduzida em pH mais neutro, proporcionando maior crescimento de plantas e redução dos danos causados pela doença. Santos et al. (2017 e 2020a) observaram que a calagem, particularmente a dose de 4.0 Mg ha⁻¹, proporcionou melhorias nas condições químicas do solo para a cultura da couve-flor e reduziu a severidade da hérnia das crucíferas. A calagem aumentou o volume e massa fresca das raízes saudáveis e a massa fresca da parte aérea, além de reduzir o volume das raízes com sintomas da doença (SANTOS et al., 2017).

Apesar dos relatos positivos da calagem no controle da hérnia das crucíferas e produção de brássicas (PENALBER, 2009; RUARO et al., 2009; SANTOS et al., 2017; SANTOS et al., 2020a), existem poucas informações sobre os efeitos desta prática quando associada a outras medidas complementares como a adubação orgânica. Penalber (2009) observou que compostos orgânicos associado a doses crescentes de calcário favoreceram a supressão da hérnia das crucíferas em solos com média a baixa concentração de esporos resistentes no solo. Estes efeitos não foram obtidos em solos com alta concentração de esporos, quando igual ou acima de 10⁸ esporos/g de solo.

2.3 Compostos orgânicos

2.3.1 Compostos orgânicos no manejo das culturas agrícolas e controle de doenças

Os adubos orgânicos podem ser de origem vegetal, animal ou da agroindústria e são aplicados ao solo visando a melhoria de sua fertilidade e o aumento da produtividade e qualidade das culturas (TRANI et al., 2013; CONDÉ et al., 2017). Os adubos ou compostos orgânicos podem ser fontes de nutrientes para as plantas ou atuarem como condicionadores físicos e físico-químicos do solo (FREIRE et al., 2013; LEAL et al., 2023).

A aplicação inadequada ou excessiva de adubos orgânicos pode acarretar efeitos adversos como a eutrofização de corpos d'água (NIWA et al., 2007), produção de substâncias fitotóxicas dentre outros (KELLEHER et al., 2002). Além disso, é necessário considerar a composição do adubo/composto quanto aos teores de macro e micronutrientes e as necessidades nutricionais da planta em questão, bem como o tempo necessário para mineralização dos mesmos (TRANI et al., 2013). Por outro lado, a lenta liberação de nutrientes pode reduzir problemas como salinização (SANTOS, 2015) e perdas de N por lixiviação, volatilização ou mineralização (FERREIRA et al., 2013; VIANA et al., 2020).

Dependendo do tipo de resíduo orgânico, pode haver restrições ao seu uso na forma fresca. Estes problemas, na maioria das vezes, podem ser sanados ou amenizados com a compostagem, processo este que leva à estabilização da matéria orgânica e à eliminação de microrganismos indesejáveis (BERNAL et al., 2009; SANCHUKI et al., 2011; LEAL, 2023). A compostagem é um processo biológico e espontâneo, em meio predominantemente aeróbico, e que permite a transformação de resíduos orgânicos em adubo humificado para uso como fonte de nutrientes para as plantas (BERNAL et al., 2009; SANCHUKI et al., 2011; TRANI et al., 2013; LEAL, 2023). Ou seja, a compostagem é um processo bioativo que, sob condições adequadas de umidade, levam à degradação dos resíduos heterogêneos pelos microrganismos presentes no material (MAGRINI et al., 2011).

Durante a compostagem, que é um processo dinâmico, ocorre a mineralização de nutrientes presentes em resíduos orgânicos pela ação direta de microrganismos aeróbicos, gerando um produto parcialmente humificado (TILSTON et al., 2002). Durante o processo de compostagem, tem-se uma primeira fase “termofílica” durante a qual ocorre decomposição intensa das substâncias de fácil degradação (açúcares solúveis, amido, proteínas e

aminoácidos), gerando o aquecimento que perdura por até cerca de 30 dias (LEAL, 2023). Nesse período, além da elevação da temperatura, ocorre elevada emissão de CO₂, gerando modificações no composto (SOUZA et al., 2019). Devido ao aumento da temperatura, que pode chegar a 65 °C ou mais, há a redução ou até eliminação de contaminantes biológicos (LEAL, 2023). À medida que substâncias facilmente degradadas vão se esgotando, ocorrem quedas de temperatura a valores abaixo de 50°C, sendo esta fase denominada como de maturação (TILSTON et al., 2002). A partir daí, restam as substâncias de degradação mais lenta (celulose, creatina e lignina) e uma redução da atividade microbiana com consequente redução do consumo de O₂ e de liberação de CO₂ e diminuição da temperatura. Material mais estabilizado é obtido por volta de 30 a 60 dias após o início da compostagem (LEAL, 2023).

Ao final da compostagem, além da quebra da matéria orgânica pela atividade microbiana, há uma estabilização do material, redução da variação da relação C:N e do volume do composto e a eliminação de microrganismos patogênicos e de sementes de plantas daninhas presentes (BERNAL et al., 2009; CHEN & JIANG, 2014). Ao final da compostagem, o material resultante é estável, inodoro, de textura fina e com alto valor de umidade, podendo ser utilizado como adubo orgânico (STAUB et al., 2017).

O uso de adubos ou compostos orgânicos pode resultar em modificações nas propriedades físicas do solo como aeração, armazenamento de água e drenagem, pois a matéria orgânica beneficia a estrutura dos agregados; nas propriedades químicas pelo aporte de nutrientes; nas propriedades físico-químicas pelo aumento de sua capacidade de troca de cátions (CTC); e nas propriedades biológicas pelo aumento da atividade e diversidade microbiana (NIWA et al., 2007; HADAR & PAPADOPOLOU, 2012; SIQUEIRA & SIQUEIRA et al., 2013; TRANI et al., 2013 MEGHVANSI & VARMA, 2015). Ou seja, a adubação orgânica é vantajosa, pois pode gerar melhorias das condições químicas, físicas e biológicas do solo, melhorando a sua fertilidade e disponibilidade de nutrientes para as plantas (SIQUEIRA & SIQUEIRA et al., 2013; TRANI et al., 2013; VIANA et al., 2020), além de poder contribuir para o aumento da supressividade dos solos a alguns fitopatógenos (HADAR & POPADOPOLOU, 2012; MEGHVANSI & VARMA, 2015).

A supressão de fitopatógenos está relacionada a complexas interações físicas, químicas e biológicas que podem contribuir para o controle de doenças. Este efeito pode decorrer tanto da indução de resistência nas plantas como da ação direta da microbiota sobre fitopatógenos por competição, parasitismo e antibiose (PENALBER, 2009; HADAR & PAPADOPOLOU, 2012; MEGHVANSI & VARMA, 2015; LIMA, 2019). O efeito da adição de compostos orgânicos no desenvolvimento de doenças pode variar em função da natureza/características do composto e do solo, do fitopatógeno alvo e da planta hospedeira (NOBLE, 2011). A maturidade, a formulação e o grau de processamento do adubo orgânico são fatores determinantes para a química do composto e para o seu efeito na supressão de doenças (TILSTON et al., 2002; MEGHVANSI & VARMA, 2015). Os fatores abióticos como o pH do solo, teor de Ca, forma e teor de N e a disponibilidade de outros nutrientes no solo também são muito importantes no controle de doenças, pois uma boa nutrição pode levar a uma compensação das perdas pela doença (MEGHVANSI & VARMA, 2015). Embora efeitos químicos como elevação de pH e liberação de nutrientes no solo possam contribuir para amenizar as perdas causadas por algumas doenças, atribui-se à ação microbiana o efeito principal na supressão de doenças, seja pela atividade antagonista a fitopatógenos como pela indução de resistência nas plantas (NOBLE, 2011).

A ação antagonista de microrganismos a fitopatógenos pode decorrer da produção de antibióticos, competição por nutrientes, secreção de enzimas líticas ou parasitismo (MEGHVANSI & VARMA, 2015). A microbiota associada aos compostos orgânicos, ou atividade microbiana do solo promovida pela adição de compostos é um dos fatores responsáveis pela supressão de doenças causadas por patógenos habitantes de solo (LIMA,

2019; HADAR & PAPADOPOLOU, 2012). Segundo Hadar & Papadopoulou (2012), existem cinco mecanismos possíveis para a supressão de doenças: sucesso na competição de carbono e outros nutrientes por microrganismos benéficos; produção de antibióticos ou outros compostos tóxicos ao patógeno; sucesso na predação/parasitismo do patógeno por bactérias e fungos; ativação de genes de resistência a doenças nas plantas; e melhoria da nutrição e vigor das plantas.

2.3.2 Cama de aviário

O Brasil é o terceiro maior produtor de carne de aves do mundo (AVISITE, 2021). Essa produção gera grande quantidade de resíduos resultante do material utilizado para forração do piso das granjas e dos resíduos da criação das aves (fezes e urina, penas e ração desperdiçada). Este resíduo, conhecido como “cama de aviário” (KELLEHER et al., 2002; SANCHUKI et al., 2011; CHEN & JIANG, 2014), é um dos insumos mais usados como fertilizante orgânico, principalmente na produção de hortaliças, devido ao seu alto conteúdo de nutrientes, especialmente N, e baixo custo dependendo da região (KELLEHER et al., 2002; CHEN & JIANG, 2014; ROGERI et al. 2016; BHERING et al., 2017; LIMA, 2019). De modo geral, os resíduos de produção animal podem substituir total ou parcialmente a adubação mineral, dependendo da cultura e da composição do resíduo. Sua eficiência varia com a sua composição que, por sua vez, depende do material utilizado, preparo, armazenamento e método de aplicação (FREIRE et al., 2013).

Diferente dos fertilizantes químicos, a cama de aviário apresenta composição variável conforme o manejo da granja, o que dificulta a calibração correta das doses de acordo com a necessidade das culturas. Existem variações na concentração de N na cama de aviário que pode ser confirmada em alguns trabalhos, como 2,2% (ROGERI et al., 2016), 1,9% (SANTOS, 2020) e 2,28% (LIMA, 2019) de N total no material fresco. Ainda, a compostagem do material também altera as concentrações de N total, que pode variar conforme o tempo de compostagem como 2,15% na cama de aviário compostada por 15 dias, 2,07% em cama compostada por 30 dias (LIMA, 2019), 1,61% em cama compostada por 45 dias (SANTOS, 2020) e 1,75% de N total na cama de aviário compostada por 60 dias (DINIZ et al., 2021). Mais de 90% do N presente na cama de aviário está na fração orgânica e somente se torna disponível para as plantas após a sua mineralização (ROGERI et al., 2016), promovida pela atividade microbiana e mudanças de temperatura, pH, umidade e oxigênio (KELLEHER et al., 2002).

Ao ser adicionada ao solo, a cama de aviário sofre degradação microbiana, podendo gerar compostos tóxicos e voláteis e afetar patógenos do solo direta ou indiretamente, por aumentar a atividade da microbiota do solo (MEGHVANSI & VARMA, 2015). Ainda, compostos tóxicos liberados durante o processo de decomposição e mineralização da matéria orgânica podem também ter efeitos fitotóxicos (MEGHVANSI & VARMA, 2015).

Uma estratégia importante para a adequada reutilização do resíduo das granjas é a compostagem. O uso de cama de aviário fresca pode fornecer riscos para a planta, para o meio ambiente e para a saúde humana. Os danos à saúde humana podem ser devido à contaminação por microrganismos patogênicos e/ou pela presença de metais tóxicos (KYAKUWAIRE et al., 2019). Souza et al. (2019) observaram redução na solubilidade de metais tóxicos presentes na cama de frango com a estabilização da fração orgânica humificada promovida pelo processo de compostagem, e com isso, redução do potencial poluidor do material. No entanto, frequentemente a cama de aviário fresca, ou seja, não compostada, é utilizada em lavouras de hortaliças em adubações de plantio e em cobertura (BHERING et al., 2017; BHERING et al., 2020; SANTOS, 2020).

2.3.3 Compostos orgânicos x hérnia das crucíferas

Modificação da fertilidade do solo pela adição de materiais orgânicos, corretivos de acidez ou fertilizantes, ou pelo preparo do solo, ou pela adição de microrganismos antagonistas podem influenciar a interação planta x patógeno e o desenvolvimento de hérnia das crucíferas (DIXON & TILSTON, 2010; SAHARAN et al., 2021). A ação supressora de compostos sobre a hérnia das crucíferas não depende necessariamente de sua microbiota conforme observado por Tilston et al. (2002) que identificaram, em ensaio em casa de vegetação com couve-chinesa, redução de hérnia das crucíferas mesmo quando os compostos orgânicos foram autoclavados. Niwa et al. (2007) identificaram que o aumento do pH e enriquecimento de Ca devido a adição de compostos orgânicos foi a principal causa da redução de infecção de pelos radiculares por *P. brassicae*. Penalber (2009) verificou que a adição de compostos orgânicos (composto bioativo sólido e líquido), isolados ou combinados, reduziram a severidade da hérnia das crucíferas, além de promover ganhos na massa fresca das plantas de brócolis, principalmente quando associado à calagem do solo. Condé et al. (2017) avaliaram a aplicação de bokashi em repolho e verificaram efeito positivo sobre o desenvolvimento das plantas e menor intensidade da doença com a aplicação de 400 g m⁻². Em resultados preliminares, Santos et al. (2018) observaram efeitos benéficos da adição de torta de mamona sobre o crescimento radicular e da parte aérea de plantas de couve-flor e redução da intensidade da hérnia das crucíferas.

Nem todos os estudos, porém, apontam efeitos positivos ou consistentes de compostos orgânicos sobre o controle da hérnia das crucíferas. Vargas (2018) constatou que bokashi não reduziu a severidade da hérnia das crucíferas mas incrementou em 400% a produção de biomassa de mostarda chinesa. Basnet et al. (2018) relatam respostas inferiores do tratamento com bokashi comparado a tratamentos com calagem e a biofungicida (Hatake) no controle da hérnia das crucíferas, porém superior à observada no tratamento testemunha. Essas inconsistências podem estar associadas ao curto período de tempo em que o *P. brassicae* fica vulnerável às adversidades no ambiente solo e às diferentes composições dos compostos orgânicos. Os esporos resistentes de *P. brassicae* têm parede celular com estrutura impermeável e são resistentes à ação de substâncias e microrganismos do solo, exceto logo após a sua germinação e liberação dos zoósporos primários (DIXON & TILSON, 2010).

Dentre os compostos e resíduos orgânicos tradicionalmente mais utilizados nas lavouras de brássicas está a cama de aviário (BHERING et al., 2017; LIMA, 2019; BHERING et al., 2020; SANTOS et al., 2022b). Estudos realizados por Lima et al. (2022) e Diniz et al. (2021) apontam para melhor crescimento de couve-flor e de rúcula, respectivamente, com o uso de cama de aviário fresca comparada à cama compostada por 30 e 60 dias. Em seu estudo, Diniz et al. (2021) também constataram que a aplicação da cama de aviário compostada por 30 dias proporciona um desenvolvimento de plantas de rúcula inferior ao proporcionado pela cama compostada por 60 dias. Lima (2019) relata melhor desenvolvimento de plantas de couve-flor cultivadas em vasos de 250 mL adubados com cama de aviário compostada por 60 dias que em vasos adubados com camas compostadas por 30, 90 e 120 dias.

Esta resposta pode estar associada ao maior teor de nitrogênio disponível para as plantas (CHEN & JIANG, 2014; ROGERI et al., 2016; LIMA, 2019; SANTOS et al., 2021a). No entanto, o material fresco, por ser mais instável, pode ocasionar fitotoxicidade às plantas (BERNAL et al., 2009; LIMA, 2019; LIMA et al., 2022) além dos problemas de contaminação por metais e microrganismos patogênicos anteriormente mencionados. A aplicação contínua e massiva de cama de aviário sem compostagem pode estar associada ao aumento da ocorrência da hérnia das crucíferas nos solos ácidos das lavouras de *Brassica* spp. da região Serrana do Rio de Janeiro (BHERING et al., 2017; BHERING et al., 2020), possivelmente por favorecerem os processos de acidificação devido à produção de ácidos orgânicos e inorgânicos pela liberação de íons de H⁺ (BHERING et al., 2020).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os ensaios foram realizados em condições de casa de vegetação na UFRRJ, Seropédica, RJ, no período de 2021 a 2022. Utilizaram-se plantas de brócolis americano e esporos resistentes de *P. brassicae*, obtidos de galhas de plantas infectadas e preservadas sob congelamento (SANTOS et al., 2018). As galhas utilizadas foram provenientes de lavouras de couve-flor da região de Nova Friburgo-RJ. Os isolados utilizados no presente estudo possuem o código de cadastro A76EBFC no SisGen. Os compostos orgânicos foram obtidos em aviários do Estado do Rio de Janeiro e submetidos a compostagem por 60 dias.

3.1 Obtenção e caracterização dos compostos orgânicos

Foram utilizadas duas partidas de cama de aviário fresca, coletadas em granjas de criação de frangos de corte do Estado do Rio de Janeiro, sendo uma no ano de 2021 e outra em 2022. As respectivas partidas de cama de aviário foram compostadas por cerca de 60 dias, no período de junho a agosto de 2021 e de maio a julho de 2022 (LIMA et al., 2022; DINIZ et al., 2021). Para tanto, o material foi depositado sobre lona plástica, na forma de pilha com aproximadamente 1,0 m de altura, e revirado e homogeneizado a cada sete dias e, umedecido visando o ajuste da umidade para 60% (SANTOS, 2020). Ao final de 60 dias, os compostos obtidos foram ensacados. Amostras foram coletadas para análises visando a determinação de seus atributos químicos. Estas amostras foram secas, para determinação da umidade, e em seguida moídas e usadas para determinação do pH, CE, e dos teores de macro e micronutrientes (Tabelas 1 e 2). O pH foi medido em água; a CE foi medida a partir de um condutivímetro digital; os teores de P₂O₅, K₂O, Fe, Zn, Mn, Cu foram determinados utilizando-se o extrator Mehlich-1; para o Ca e Mg, foi utilizado o extrator KCl – 1 mol/L; para o B a extração foi feita em água quente; e para o S-SO₄ foi utilizado o fosfato monocálcico (TEIXEIRA et al., 2017). Os teores de C e o N total foram medidos a partir de um analisador elementar automático de CHN (TEIXEIRA et al., 2017).

Tabela 1. Caracterização química do composto orgânico à base cama de aviário coletada em granja de corte em 2021 obtido após a compostagem por 60 dias no período de junho a agosto de 2021. Seropédica, UFRRJ, 2021.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	C	Relação C/N
		g kg ⁻¹				
22,30	12,20	30,75	21,85	5,35	177,60	7,96
Umidade	pH	C.E.	Fe	Cu	Zn	Mn
%	(H ₂ O)	dS m ⁻¹			mg kg ⁻¹	
25,00	8,10	14,39	2047,50	95,00	339,50	401,00

Tabela 2. Caracterização química de composto orgânico à base cama de aviário coletada em granja de corte em 2022 e compostada por 60 dias no período de maio a junho de 2022. Seropédica, UFRRJ, 2022.

N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	C	Relação C/N
		g kg ⁻¹				
12,40	8,65	12,70	12,35	3,00	109,50	8,83
Umidade	pH	C.E.	Fe	Cu	Zn	Mn
%	(H ₂ O)	dS m ⁻¹			mg kg ⁻¹	
45,50	7,50	12,51	5637,50	80,00	204,50	275,00

3.2 Avaliação de diferentes doses de cama de aviário

Realizou-se um ensaio, em condições de casa vegetação climatizada na UFRRJ, no período de agosto a outubro de 2021. Nesta ocasião, foram testadas diferentes doses da cama de aviário compostada por 60 dias. As doses foram padronizadas tendo como base o teor de N total do composto e visando a adição do equivalente à 0, 30, 60, 90, 120 e 150 Kg de N ha⁻¹. Utilizou-se solo arenoso homogeneizado e previamente analisado quanto aos atributos de fertilidade (TEIXEIRA et al., 2017) (Tabela 3).

Tabela 3. Resultado da análise química do solo utilizado para enchimento dos vasos em ensaio com doses de composto. Seropédica, UFRRJ, 2021.

pH em água	cmolc dm ³						%	mg dm ³			
	K	Ca	Mg	Na	Al	H + Al	S	T	V	P	K
5,27	0,17	1,85	1,48	0,03	0,10	2,67	3,53	6,3	56	34,76	66,67

A cama de aviário foi adicionada ao solo, nas quantidades previamente definidas conforme o tratamento, seguido de homogeneização em uma betoneira. Em seguida, as misturas solo + dose de composto foram distribuídas nos vasos (3,6 L) e em sequência efetuado o transplantio das mudas. Foram utilizadas mudas de brócolis americano, cultivar Avenger^H (Sakata), produzidas em bandejas de 128 células com capacidade unitária de 35 mL e com 30 dias de idade. A aplicação dos tratamentos, doses de cama de aviário, foi feita no dia do transplantio das mudas.

Para avaliar o efeito das doses de compostos sobre a intensidade da hérnia das crucíferas, foi feita a inoculação do solo com esporos resistentes de *P. brassicae*. Para tanto foram utilizados 150 mL de suspensão contendo 1×10^8 de esporos resistentes, que foram adicionados no dia do transplantio das mudas, resultando em densidade de inóculo equivalente a $4,2 \times 10^6$ esporos por g de solo. Para avaliar o efeito das doses de composto sobre o desenvolvimento da planta, utilizaram-se como testemunhas parcelas não inoculadas. O inóculo foi obtido conforme Santos et al. (2018) a partir da trituração de 5,0 gramas de galhas congeladas em 200 mL de água destilada autoclavada, com auxílio de liquidificador, seguido de filtragem em quatro camadas de tecido musseline. O volume obtido foi transferido para quatro tubos Falcon de 50 mL cada e, em seguida centrifugados a 2000 rpm por 10 min. Após descarte do sobrenadante, o “pellet” foi ressuspêndido e homogeneizado em água destilada autoclavada. Para aferição da concentração de esporos, foi feita coloração com o corante azul de algodão (30 µl) e contagem do número de esporos em câmara de Neubauer sob observação em microscópio óptico (objetiva de 40X). A inoculação foi feita logo após o transplantio das mudas. Nos tratamentos sem inoculação, foram adicionados 150 mL de água destilada autoclavada.

O delineamento adotado foi de blocos casualizados com 4 repetições, em esquema fatorial 6x2 (6 doses de cama de aviário x inoculação ou não com esporos resistentes de *P. brassicae*).

Após o transplantio, seguiu-se o manejo usual da cultura com irrigações diárias e remoção manual de plantas invasoras.

A avaliação foi realizada aos 60 dias após o transplantio das mudas (DAT). Para tanto, as plantas foram cortadas na base do caule e a parte aérea foi acondicionada em sacos para posterior análise em laboratório. Em seguida, as raízes foram removidas de forma cuidadosa.

As raízes foram lavadas e avaliadas quanto à severidade da doença utilizando-se a escala de notas composta por sete níveis (0%, 8%, 20%, 42%, 68%, 87% e 95% de galhas nas raízes) (SANTOS et al., 2017). Em seguida, foi feita a separação em duas frações, galhas e raízes sadias, que foram submetidos à avaliação para determinação de volume: volume de raízes sadias (VRS) e volume de galhas (VH). Esta medição foi feita com base no deslocamento de água em

proveta graduada. O volume total (VTR) foi determinado pela soma destes (BHERING et al., 2017). Determinou-se, ainda, a massa fresca de raízes sadias (MFRS), de galhas (MFH) e total (MFRT). Com os dados de volume e de massa fresca das raízes foram calculados os percentuais da fração doente das raízes, expressa em volume (PVH) e em massa fresca (PMFRH) (SANTOS et al., 2018).

Na parte aérea foram avaliadas a altura (ALT) das plantas, número de folhas (NF), massa fresca das folhas (MFF), de caule (MFC) e da parte aérea, obtida pelo somatório das demais partes (MFPA). Em seguida, as amostras da parte aérea e das raízes foram secas em estufa com circulação de ar forçado e temperatura ajustada para 65°C visando a obtenção da massa seca das folhas (MSF), caule (MSC) e das raízes (MSR) e com os respectivos somatórios, da parte aérea (MSPA).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Adicionalmente, quando observado efeito significativo de dose de composto, foi realizada análise de regressão linear simples ou quadrática em função das doses do composto orgânico. Foi utilizado o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.3 Ajuste de densidade de inóculo de *Plasmodiophora brassicae*

O estudo teve como objetivo selecionar densidade de inóculo de *P. brassicae* para estudos envolvendo o efeito de composto orgânico na intensidade da hérnia das crucíferas e no desenvolvimento de plantas de brócolis em condições controladas. O ensaio foi realizado em condições de casa vegetação climatizada na UFRRJ no período de abril a junho de 2022. Utilizaram-se mudas de brócolis, cultivar Avenger, produzidas conforme descrito no item 3.2. Os vasos com capacidade para 3,6 L foram preenchidos com solo homogeneizado, previamente analisado quanto aos atributos de fertilidade (Tabela 4). Em seguida, foi realizada a adubação de plantio com 5 g planta⁻¹ de fertilizante mineral com NPK, formulação 4-14-8.

Foram avaliadas cinco densidades de inóculo, $1,4 \times 10^2$, $1,4 \times 10^3$, $1,4 \times 10^4$, $1,4 \times 10^5$ e $1,4 \times 10^6$ esporos por g de solo, obtidas pela adição de 50 mL de suspensão contendo 10^4 , 10^5 , 10^6 , 10^7 e 10^8 esporos de *P. brassicae* por mL em cada vaso de 3,6 L, respectivamente. A inculcação foi feita logo após o transplante das mudas.

Tabela 4. Análise química de fertilidade do solo utilizado para enchimento dos vasos em ensaio com densidade de inóculo. Seropédica, UFRRJ, 2022.

pH em água	cmol _c dm ⁻³						%	mg dm ⁻³			
	K	Ca	Mg	Na	Al	H + Al		T	V	P	K
5,82	0,05	1,00	1,30	0,02	0,00	2,48	2,37	4,84	49	43	18

As plantas foram cultivadas seguindo o manejo usual para a cultura com irrigações diárias, remoção manual de plantas invasoras, e adubação de cobertura com 5 g planta⁻¹ de fertilizante mineral com formulação NPK 20-0-20 aos 30 dias após o transplantio.

As avaliações foram feitas aos 42 dias após o transplantio quando foram mensuradas as seguintes variáveis: incidência de plantas com galhas, severidade da doença, determinada com base em escala de notas, volume de raízes sadias e com galhas e massa seca total da planta (BHERING et al., 2017; SANTOS et al., 2018). As variáveis foram obtidas conforme detalhado no item 3.2.

Foi adotado o delineamento em blocos casualizados, com 4 repetições, contendo 4 vasos por repetição e uma planta por vaso. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias submetidas à análise de regressão linear ou quadrática em função das concentrações de

inóculo. Utilizou-se o programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 2011). Os dados obtidos foram analisados para determinação da faixa de concentração de inóculo mais adequada para os ensaios seguintes.

3.4 Efeito da época de aplicação da cama de aviário

Foram conduzidos dois ensaios simultâneos em casas de vegetação Van der Hoeven climatizadas, no período de julho a setembro de 2022. O Ensaio 1 foi realizado na casa de vegetação situada no Setor de Horticultura da UFRRJ utilizando-se solo sem aplicação prévia de calcário. O Ensaio 2 foi realizado na casa de vegetação situada no Departamento de Solos da UFRRJ, utilizando-se solo previamente tratado com calcário.

Para o ensaio 2, foi feita a aplicação de calcário dolomítico (PRNT 76%) em dose equivalente a $1,69 \text{ Mg ha}^{-1}$ e considerando profundidade de até 20 cm ha^{-1} . A aplicação do calcário e homogeneização com auxílio de betoneira foi feita aos 60 dias antes do transplantio das mudas. Durante este período, efetuaram-se irrigações periódicas visando a manutenção da umidade próxima à capacidade de campo.

Em ambos os ensaios, foi utilizado cama de aviário compostada por 60 dias (item 3.1) e doses equivalente a $90 \text{ Kg de N ha}^{-1}$. Foram utilizados quatro tratamentos de adubação, sendo três com cama de aviário aplicada em três épocas distintas, mais um tratamento testemunha sem adição de cama de aviário: a) aplicação da cama de aviário por ocasião do transplantio das mudas - 0 dias antes do transplantio; b) aplicação da cama de aviário aos 7 dias; e c) aos 14 dias anteriores ao transplantio (DAAT); d) adubação mineral em quantidade equivalente ou compatível com os teores de N, P, e K contidos no composto de cama de aviário.

Para testar o efeito destes tratamentos sobre a hérnia das crucíferas, foram utilizados tratamentos com inoculação, ou não, com esporos resistentes de *P. brassicae* (50 mL de suspensão contendo 10^6 esporos resistentes) de tal forma a obter a densidade de $6,25 \times 10^3$ esporos por g de solo.

Foram utilizados vasos com capacidade para $8,0 \text{ L}$ preenchidos com solo arenoso mais o adubo conforme o tratamento. A adição dos adubos e a homogeneização, feita com auxílio de betoneira, seguiu o calendário de adubação especificado em cada tratamento: aplicação de cama de aviário aos 14, 7 e 0 dias em relação à data de transplantio. A adubação mineral foi feita no dia do transplante, em todos os tratamentos.

Na data do transplante das mudas, para evitar diferenças quanto à compactação do solo, foi feita uma segunda homogeneização em betoneira em todos os tratamentos. Logo em seguida, foram coletadas três amostras aleatórias do material homogeneizado para posterior análise química (TEIXEIRA et al., 2017) (Tabelas 5 e 6).

As misturas de solo mais respectivos tratamentos foram distribuídos nos vasos e suplementadas com superfosfato simples visando corrigir o déficit de P da cama de aviário, conforme as necessidades da cultura (FREIRE et al., 2013) e tendo como base o resultado da análise de fertilidade do solo. Para isso, utilizaram-se nos Ensaio 1 e Ensaio 2, a dose de $14,21 \text{ g}$ e $11,37 \text{ g vaso}^{-1}$ de superfosfato simples, respectivamente. No tratamento testemunha, sem cama de aviário, foi feita a aplicação de $20,72 \text{ g}$ de superfosfato simples, $7,2 \text{ g}$ de ureia e $9,09 \text{ de cloreto de potássio (KCl)}$ visando padronizar os valores de N, P e K da testemunha em relação aos valores presentes na cama de aviário. Para amenizar os possíveis efeitos deletérios da alta dose de N e K na adubação de plantio no tratamento testemunha, i.e., sem a aplicação da cama de aviário, optou-se pelo parcelamento em três datas, $2,4 \text{ g}$ de ureia e $3,03 \text{ g}$ de KCl por vaso, no dia do transplantio e aos 7 e 14 dias após.

Foram utilizadas mudas de brócolis de inflorescência única, cultivar Coliseu^H (Feltrin), caracterizada por alta precocidade e tolerância a temperaturas mais elevadas. As mudas, produzidas em bandejas de 128 células, apresentavam 30 dias de idade e 3 a 4 folhas definitivas.

A inoculação foi realizada logo após o transplantio das mudas. O inóculo de *P. brassicae* foi obtido conforme metodologia descrita no item 3.2., e considerando-se a concentração de 50 mL por vaso de suspensão contendo 10^6 esporos de *P. brassicae* por mL, totalizando $6,25 \times 10^3$ esporos por g de solo.

Tabela 5. Atributos químicos do solo dos quatro tratamentos de adubação – solo original sem adubação e após aplicação da cama de aviário aos 0, 7 e 14 dias antes do transplantio (DAAT) das mudas de brócolis. Solo sem calagem e sem suplementação com fertilizante mineral. Setor de Horticultura. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Elemento	Amostra			
	Sem aplicação	0 DAAT	7 DAAT	14 DAAT
Macronutrientes				
K mg/dm ³	31,20	413,40	386,10	370,50
Ca cmol _c /dm ³	2,32	2,95	3,03	2,84
Mg cmol _c /dm ³	0,88	1,84	2,06	2,35
N (mg/g)	5,80	8,20	8,10	7,80
P (mg/dm ³)	36,67	176,00	164,00	144,00
SO ₄ (mg/dm ³)	9,00	69,33	69,67	61,67
Micronutrientes (mg/dm ³)				
Cu	0,73	0,70	0,80	0,70
Fe	141,67	115,00	114,33	121,67
Zn	6,17	16,17	8,33	12,33
Mn	21,67	27,67	26,67	27,33
B	0,26	0,30	0,30	0,34
Outros atributos (cmolc/dm ³)				
Al	0,07	0,08	0,00	0,00
H+Al	2,25	1,89	1,94	1,97
Na	0,05	0,49	0,49	0,43
CTC	5,58	8,24	8,51	8,52
pH	5,1	5,77	5,6	5,47
V (%)	59,67	77,33	77,00	76,67
MO (g/dm ³)	13,39	23,45	17,3	21,21
C (g/dm ³)	7,77	13,60	10,03	12,30

Metodologia conforme Teixeira et al. (2017)

Extrator: Mehlich

Tabela 6. Atributos químicos do solo dos quatro tratamentos de adubação – solo original sem adubação e após aplicação da cama de aviário aos 0, 7 e 14 dias antes do transplantio (DAAT) das mudas de brócolis. Solo com calagem e sem suplementação com fertilizante mineral. Departamento de Solos. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Elemento	Amostra			
	Sem aplicação	0 DAAT	7 DAAT	14 DAAT
Macronutrientes				
K (mg/dm ³)	74,10	542,10	460,20	401,70
Ca (cmolc/dm ³)	2,99	3,37	3,46	3,21
Mg (cmolc/dm ³)	1,37	1,95	1,84	1,52
N (mg/g)	6,40	8,30	8,20	7,00
P (mg/dm ³)	34,67	168,00	168,00	118,00
SO ₄ (mg/dm ³)	26,00	94,00	77,67	59,67
Micronutrientes (mg/dm ³)				
Cu	0,53	0,70	0,70	0,60
Fe	121,67	124,33	103,33	124,67
Zn	6,67	14,00	14,17	10,83
Mn	26,00	31,67	32,67	27,67
B	0,29	0,29	0,34	0,35
Outros atributos (cmolc/dm ³)				
Al	0,03	0,00	0,00	0,00
H+Al	1,90	1,71	1,70	1,63
Na	0,09	0,63	0,57	0,45
CTC	6,56	9,08	8,77	7,86
pH	5,40	6,00	6,00	5,90
V (%)	71	81,33	80,67	78,33
MO (g/dm ³)	20,63	24,83	26,15	16,95
C (g/dm ³)	11,97	14,40	15,17	9,83

Metodologia conforme Teixeira et al. (2017)

Extrator: Mehlich

As plantas foram cultivadas seguindo o manejo usual para a cultura com irrigações diárias e remoção manual de plantas invasoras. Realizaram-se adubações de cobertura utilizando-se 5 g planta⁻¹ de formulação mineral 20-0-20, além de adubação foliar a cada 15 dias com boro e molibdênio na forma de ácido bórico (1 g L⁻¹) e molibdato de amônia (0,5 g L⁻¹), respectivamente. Para controle de lagartas, foi feita aplicação de produto comercial a base de *Bacillus thuringiensis* var. *kurstaki*, linhagem HD-1.

O delineamento adotado foi de blocos casualizados em esquema fatorial 4x2 (3 épocas de aplicação da cama e tratamento testemunha x inoculação com *P. brassicae* e testemunha sem inoculação) e 6 repetições no Ensaio 1 (sem calagem) e 4 repetições no ensaio 2 (com calagem).

As avaliações foram feitas aos 60 dias após o transplantio, quando as plantas apresentavam inflorescências bem desenvolvidas e compactas (LUENGO & MELO, 2022). Avaliaram-se as mesmas variáveis anteriormente mencionadas e relacionadas à doença, além de crescimento radicular, acúmulo de biomassa, produção e qualidade das inflorescências (BHERING et al., 2017; SANTOS et al., 2018; SANTOS et al., 2020).

Os dados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas por teste de Tukey a 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico R (R Core Team, versão 4.1).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Efeito de doses de cama de aviário e de inoculação com *P. brassicae*

Houve efeito significativo ($p \leq 0,05$) de inoculação com *P. brassicae* sobre a intensidade da hérnia das crucíferas, expressa pela severidade da doença, massa fresca, volume e porcentagem de raízes com galhas e; sobre a massa fresca e volume de raízes sadias e acúmulo de massa seca nas raízes das plantas de brócolis; nenhum efeito das doses de cama de aviário sobre as variáveis relacionadas à doença e raízes; e efeito da interação inoculação x dose sobre a massa fresca da raiz sadia (Anexo A).

A inoculação com suspensão contendo $1,0 \times 10^8$ esporos de *P. brassicae* mL^{-1} ($4,2 \times 10^6$ de esporos por g de solo) resultou em alta taxa de infecção e colonização das raízes, expressa por 100 % de plantas infectadas e alta severidade da doença, aferida com base em escala de notas (SEV=60,82%), alta porcentagem da massa fresca radicular com galhas (PMFH=59,38%), e do volume radicular com galhas (PVH=56,94%) (Tabela 7). A massa fresca e volume de raízes sadias bem como a massa seca total de raízes foi significativamente maior nas plantas não inoculadas comparadas às inoculadas. Valores significativamente maiores de massa fresca e de volume de raízes sadias e de massa seca total de raiz foram obtidos nas plantas não inoculadas. A perda média da massa fresca, do volume de raízes sadias e de massa seca total da raiz devido à inoculação foi de 84,18%, 81,23% e 74,26%, respectivamente (Tabela 7). Esta perda de raiz resultou em danos diretos à parte aérea das plantas. Ou seja, afetou significativamente todas as variáveis relacionadas ao crescimento da parte aérea das plantas, com maior número de folhas, altura, massa fresca de folhas e caule e massa seca de folhas e caule nas parcelas testemunhas comparadas às inoculadas. Pode-se destacar a redução em 94,39% e 90,72% da massa fresca e seca da parte aérea devido à doença (Tabela 7).

Tabela 7. Efeito da inoculação com esporos de *Plasmodiophora brassicae* sobre a severidade da hérnia das crucíferas; massa fresca da raiz sadia, de raízes com galhas e porcentagem de massa fresca radicular com galhas (PMFH); volume de raiz sadia, de raízes com galhas e porcentagem de volume radicular com galhas (PVH); massa seca total da raiz; número médio de folhas; altura da planta; massa fresca da folha e do caule massa seca da folha, do caule e da parte aérea em plantas de brócolis (cv. Avenger). Ensaio em casa de vegetação com diferentes doses de cama de aviário. Seropédica, UFRRJ, 2021.

Inoculação	Severidade (%)	Massa fresca de raiz (g)		PMFH (%)	Volume de raiz (mL)		PVH (%)	Massa seca total de raiz (g)
		Sadia	Hérnias		Sadia	Hérnias		
<i>P. brassicae</i>	60,82 a	2,05 b	3,64 a	59,38 a	2,19 b	3,82 a	56,94 a	0,70 b
Testemunha	0,00 b	10,91 a	0,00 b	0,00 b	9,48 a	0,00 b	0,00 b	2,32 a
CV (%)	18,35	16,16	31,75	21,03	17,07	32,41	18,26	25,97
Nº de folhas		Altura (cm)	Massa fresca (g)			Massa seca (g)		
			Folhas	Caule	Folhas	Caule	Parte aérea	
<i>P. brassicae</i>	3,58 b	8,59 b	5,09 b	3,06 b	1,54 b	0,92 b	2,45 b	
Testemunha	11,54 a	17,1 a	85,65 a	29,49 a	18,22 a	6,04 a	24,26 a	
CV (%)	14,46	13,93	21,8	18,74	15,13	19,43	34,6	

*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Apesar de, nas condições de realização deste teste, as doses de composto não terem afetado o desenvolvimento da doença, afetaram o desenvolvimento da parte aérea das plantas, possivelmente pelo efeito nutricional. Houve efeito simples de dose de cama de aviário e da

interação inoculação x dose sobre todas as variáveis relacionadas ao desenvolvimento da parte aérea, com exceção do número de folhas e massa fresca da folha (Anexo A).

Independentemente da dose utilizada, o desenvolvimento da planta foi sempre significativamente superior nas parcelas não inoculadas comparadas às inoculadas (Figura 1). Os dados de altura das plantas em função das doses de cama de aviário foi melhor ajustado pelo modelo quadrático, e com máxima altura nas doses a 76 kg de N ha⁻¹ e 110,67 kg de N ha⁻¹ nas plantas das parcelas não inoculadas e inoculadas com *P. brassicae*, respectivamente (Figura 1A).

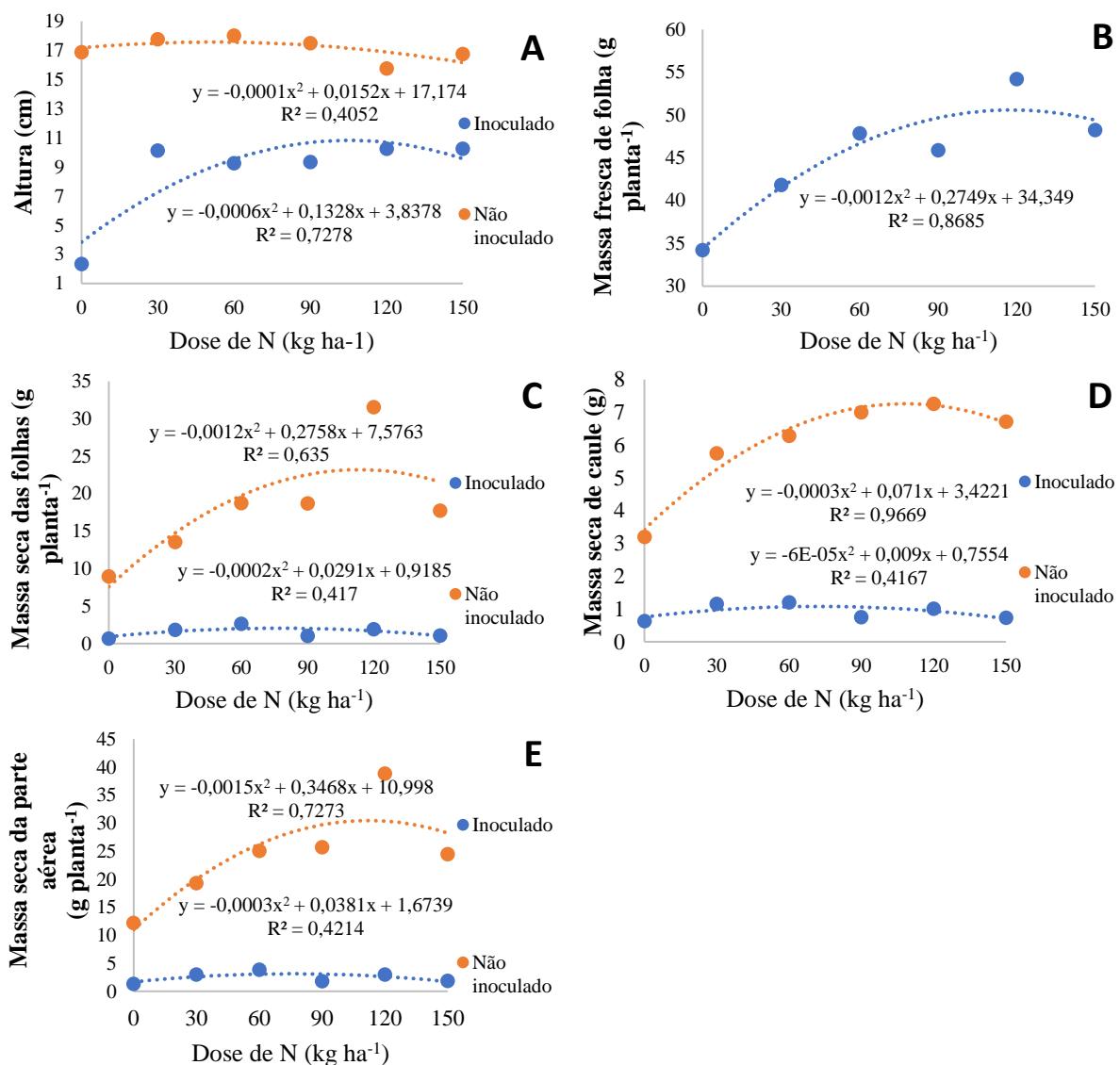


Figura 1. Efeito da aplicação de diferentes doses de cama de aviário (equivalente a 0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg de N ha⁻¹) em plantas inoculadas ou não com esporos resistentes de *Plasmodiophora brassicae* ($4,2 \times 10^6$ de esporos por g de solo) sobre a altura (A); massa fresca das folhas (B); massa seca das folhas (C); massa seca do caule (D); e massa seca da parte aérea (E) de plantas de brócolis cultivadas em casa de vegetação. Seropédica, UFRRJ, 2021.

Como não houve efeito significativo da interação inoculação x dose sobre a massa fresca média das folhas, apenas efeito simples de dose, utilizaram-se os dados médios dos dois

tratamentos. O efeito de dose sobre o acúmulo de massa fresca de folhas foi melhor ajustado com modelo quadrático, com ponto de máximo acúmulo na dose de 114,54 Kg de N ha⁻¹ (Figura 1B). Este valor equivale à adubação com 247 g de cama de aviário por vaso.

A massa fresca de caule e massa seca de folhas e de caule foram sempre superiores nos tratamentos não inoculados comparado ao inoculado, e os valores em função da dose melhor ajustados com modelo quadrático. O ponto de máximo acúmulo de massa seca das folhas foi na dose de cama de ave equivalente ao fornecimento de 114,92 kg de N ha⁻¹ para as plantas testemunhas e de 72,75 kg de N ha⁻¹ para as inoculadas (Figura 1C) (248 e 156 g de cama de aviário por vaso, respectivamente); quanto à massa seca do caule a máxima resposta foi estimada com a dose de 118,33 kg de N ha⁻¹ para as plantas testemunhas e a dose de 75 kg de N ha⁻¹ para as inoculadas (Figura 1D) (255 e 161 g de cama de aviário por vaso, respectivamente); e quanto a massa seca da parte aérea, o ponto de máximo foi identificado de 115,60 kg de N ha⁻¹ para as plantas testemunhas e 63,50 kg de N ha⁻¹ para as inoculadas (Figura 1E) (249 e 137 g de cama de aviário por vaso, respectivamente). Estes resultados indicam a maior eficiência da absorção e resposta das plantas sadias à adubação comparadas às plantas inoculadas.

A elevada densidade de inóculo de *P. brassicae* e as condições climáticas favoráveis à doença durante a realização do ensaio resultaram em alta intensidade da doença e limitação ao crescimento das plantas que dificultaram a visualização de possíveis efeitos das doses de cama de aviário sobre o desenvolvimento das plantas. Irokawa et al. (2020) citam que em condições de alta densidade de esporos no solo o controle da hérnia das crucíferas é dificultado.

O efeito das doses de cama de aviário sobre o desenvolvimento das plantas foram mais consistentes nas parcelas testemunhas não inoculadas. No geral, registraram-se nas plantas uma média de incremento de crescimento na faixa da dose equivalente à 76 kg de N ha⁻¹ a 118 kg de N ha⁻¹ (164 e 253 g de cama de aviário por vaso, respectivamente); e com redução do crescimento ou sem ganhos expressivos a partir da dose de 90 kg de N ha⁻¹ (193 g de cama de aviário por vaso, respectivamente). Esse comportamento pode estar associado a algum efeito fitotóxico causado por substâncias presentes no composto e que se potencializaram em função das doses mais elevadas (MEGHVANSI & VARMA, 2015). No entanto, vale ressaltar que a cama de aviário utilizada foi compostada previamente por 60 dias que, provavelmente, reduziu os riscos de fitotoxicidade, conforme relatado por Meghvansi & Varma (2015) e por Souza et al. (2019). A redução destes riscos permite a aplicação de doses mais elevadas e elimina ou reduz os riscos de danos às plantas causados pela cama de aviário fresca (não compostada). Santos (2020) observaram que a adubação de plantio de brócolis com cama de aviário compostada por 45 dias, em dose equivalente 179 kg de N ha⁻¹, em condições de campo, aumentou a ocorrência da hérnia das crucíferas, quando comparado com a testemunha (sem cama de aviário), porém sem afetar a produtividade.

No presente ensaio registrou-se baixo desenvolvimento vegetativo da planta. Este fato pode estar associado às altas temperaturas registradas durante o ciclo da planta. Melo (2015) aponta que a cultura de brócolis se desenvolve melhor em temperaturas mais amenas (20 a 24 C°). Segundo dados do INMET (2021), no período de agosto a setembro, as temperaturas médias na região de realização do ensaio foram de 23°C, porém com máximas de até 40°C. A cultivar de brócolis utilizada é líder de mercado, porém, sua época de cultivo é inverno ou meia estação, sendo pouco tolerante a altas variações de temperatura.

A doença foi extremamente severa, o que pode ter dificultado a expressão de possíveis efeitos da cama de aviário sobre a doença nas parcelas inoculadas. Nas condições deste estudo, foi aplicada alta densidade de inóculo por vaso, 150 mL de suspensão contendo $1,0 \times 10^8$ esporos de *P. brassicae* mL⁻¹ ou $4,2 \times 10^6$ esporos por g de solo. Esta densidade resulta em condições bem drásticas, tanto que plantas inoculadas com esporos de *P. brassicae* apresentaram crescimento notadamente inferior ao das plantas não inoculadas. A doença, portanto, prejudicou

o crescimento radicular e diminuiu a absorção de água e nutrientes, reduzindo assim o seu desenvolvimento. Murakami et al. (2001) testaram o efeito de pré-cultivos na ocorrência da hérnia das crucíferas em couve-chinesa e visualizaram efeitos benefícios apenas na menor concentração de inóculo (10^4 esporos/g de solo), quando comparado a maior concentração (10^6 esporos/g de solo). Outro possível fator de contribuição para o baixo desenvolvimento vegetativo das plantas é que, em ambos os ensaios, o composto foi incorporado ao solo na ocasião do transplante das mudas. Ferreira (2012) avaliou diferentes datas de incorporação da torta de mamona ao substrato (7, 14 e 21 dias antes do transplantio) e verificou que os melhores resultados foram encontrados na aplicação aos 14 dias devido ao tempo de mineralização e liberação dos nutrientes para as plantas e aos 7 dias houve um efeito fitotóxico. Do mesmo modo, a cama de aviário também pode produzir compostos que também promovem fitotoxicidade quando aplicado no ato do transplante das mudas. Além disso, nem sempre os nutrientes contidos nos adubos orgânicos atendem às necessidades nutricionais das plantas, pois apresentam liberação mais lenta (TRANI et al., 2013). Para a cama de aviário, por exemplo, mais de 90% do N está na fração orgânica, ficando disponível para as plantas somente após a sua mineralização (ROGERI et al., 2016), o que resulta em baixa disponibilidade para as plantas, além de, ao aumentar a atividade microbiana, promover um sequestro temporário do N presente no solo e no composto.

4.2 Ajuste de dose de inóculo de *Plasmodiophora brassicae*

No ensaio anterior, constatou-se que a concentração utilizada mascarou possíveis efeitos da cama de aviário no desenvolvimento da doença. A doença foi muito severa e afetou o sistema radicular e o crescimento das plantas. Desta forma, optou-se por realizar um novo ensaio visando identificar densidade de inóculo de *P. brassicae* mais adequada para estudos com a cama de aviário, de tal forma que resulte em alta incidência da doença, a fim de se reduzir escapes nas plantas inoculadas, porém, com severidade média a baixa para não inviabilizar a quantificação da doença e dos danos causados.

Foram testadas cinco densidades de esporos e observado efeito significativo destas sobre todas as variáveis analisadas: incidência e severidade da hérnia das crucíferas, volume de raiz sadia e massa seca total da planta (Anexo B).

Observou-se 100% de incidência de hérnia das crucíferas nos tratamentos com as concentrações de $1,4 \times 10^6$ e $1,4 \times 10^5$ esporos por g de solo (adição 50 mL de suspensão com 10^8 e 10^7 esporos de *P. brassicae* por mL, respectivamente) (Figura 2A) e severidade de 97,75% e 82,88% (Figura 2B), respectivamente. A concentração de $1,4 \times 10^4$ esporos por g de solo (adição de 50 mL de suspensão com 10^6 esporos de *P. brassicae* por mL) resultou em incidência elevada (93,75%), porém com severidade menor (71,69%) que a registrada nas duas densidades anteriores (Figura 2A, B). A concentração de $1,4 \times 10^3$ esporos por g de solo (adição de 50 mL de suspensão contendo 10^5 esporos de *P. brassicae* por mL) resultou em mais da metade das plantas infectadas (53,36%), porém com baixa severidade (14,63%). Já a concentração de $1,4 \times 10^2$ esporos por g de solo (adição de 50 mL de suspensão com 10^4 esporos de *P. brassicae* por mL) resultou em baixa incidência e severidade, 18,8% e 1,44%, respectivamente (Figura 2).

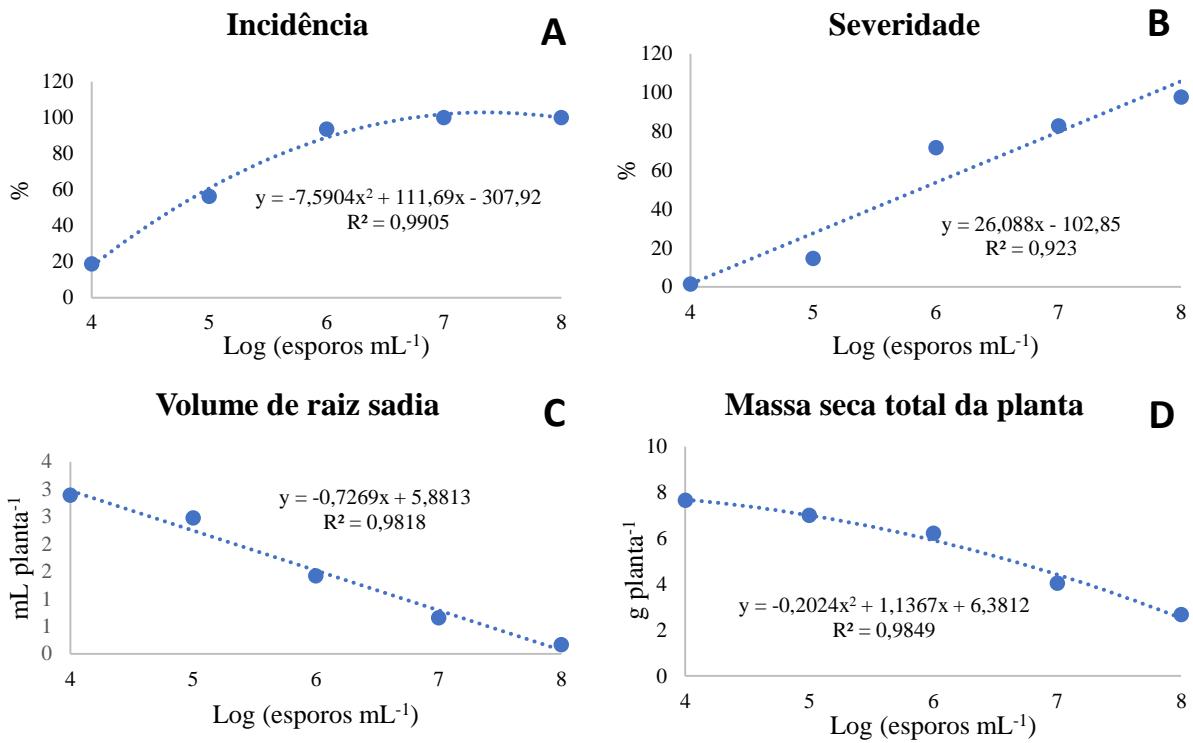


Figura 2. Efeito de densidade de esporos de *Plasmodiophora brassicae* no solo, avaliada com base na concentração de esporos na suspensão utilizada para inoculação ($10^4, 10^5, 10^6, 10^7$ e 10^8 esporos mL^{-1}) de tal forma a se obter as densidades de $1,4 \times 10^2, 1,4 \times 10^3, 1,4 \times 10^4, 1,4 \times 10^5$ e $1,4 \times 10^6$ esporos por g de solo, sobre a incidência (A); severidade da hérnia das crucíferas (B); volume de raiz sadia (C); e massa seca total da planta (D), em plantas de brócolis. Dados de concentração transformados em Log. Seropédica, UFRRJ, 2022.

No que diz respeito ao desenvolvimento das plantas de brócolis, observou-se redução expressiva do volume de raiz sadia em função do aumento das densidades de inóculo de *P. brassicae*. Os valores reduziram de 2,89 mL a 0,16 mL, e foram melhor ajustados por modelo linear ($y = 5,8813 - 0,7269x; R^2 = 0,98$) (Figura 2C). Resultado semelhante foi encontrado para massa seca total da planta que reduziu de 7,65 g a 2,66 g em função do aumento das doses de inóculo ($y = -0,2024x^2 + 1,1367x + 6,3812 R^2 = 0,98$) (Figura 2D).

Estes resultados justificam a baixa produção de biomassa registrada nos tratamentos inoculados no ensaio anterior e as dificuldades na visualização dos efeitos das doses de cama de aviário tendo em vista a elevada densidade de inóculo utilizada, $4,2 \times 10^6$ esporos por g de solo, obtida pela adição de 50 mL de suspensão contendo 10^8 esporos mL^{-1} por vaso. Penalber (2009) observou que nas densidades de esporos de 10^4 e 10^5 esporos/g de solo, a hérnia das crucíferas foi suprimida a partir da adição de compostos orgânicos e que este efeito foi anulado sob concentrações acima de 10^6 esporos/g de solo. Narisawa et al. (2005) observaram que o controle da doença, por meio do bioagente *Heteroconium chaetospira*, apenas ocorreu nas doses de inóculo mais baixas, com concentração de 10^4 e 10^5 esporos/g de solo. Murakami et al. (2009) observaram que, em alta densidade de esporos (10^7 esporos/g de solo), o efeito supressivo de materiais orgânicos é reduzido.

No presente ensaio, os tratamentos com $1,4 \times 10^2$ e $1,4 \times 10^3$ esporos/g de solo (suspensão com 10^4 e 10^5 esporos mL^{-1}) resultaram em baixa incidência e severidade da doença. Já no tratamento com $1,4 \times 10^4$ esporos/g de solo (10^6 esporos mL^{-1} na suspensão), a severidade

e incidência da doença foram altas, porém, sem prejudicar drasticamente o desenvolvimento das plantas. Nos tratamentos com $1,4 \times 10^5$ e $1,4 \times 10^6$ esporos/g de solo (10^7 e 10^8 esporos mL⁻¹ da suspensão), a severidade e a incidência foram muito altas, prejudicando drasticamente o desenvolvimento das plantas. Portanto, dentre as densidades de esporos avaliadas, a que se mostrou mais adequada para os ensaios seguintes foi a de $1,4 \times 10^4$ esporos resistentes de *P. brassicae* por g de solo, obtida com a adição de 50 mL de suspensão contendo 10^6 esporos mL⁻¹. Nesta densidade de inóculo, observou-se uma alta incidência (93,75%) de plantas infectadas, garantindo menor escape; uma severidade elevada (71,67%), porém, massa seca total foi semelhante à observada nos tratamentos com as concentrações de inóculo mais baixas.

4.3 Efeito da época de aplicação da cama de aviário

Em ambos os ensaios realizados, a adubação com cama de aviário, independente da época de aplicação, resultou em incrementos nos teores médios de macro e micronutrientes no solo, comparado ao tratamento sem a sua aplicação. Dentre estes, é possível destacar os incrementos nos teores de K, P, S, N, Ca, Mg, Zn e B (Tabelas 5 e 6). Este efeito justifica, portanto, o fato da cama de aviário ser o resíduo da produção animal mais usado como fertilizante orgânico, já que apresenta um alto conteúdo de macro e micronutrientes em sua constituição (CHEN & JIANG, 2014; ROGERI et al., 2016). Um elemento não essencial que foi adicionado com a aplicação da cama de aviário ao solo foi o Na (Tabelas 5 e 6). Este elemento pode apresentar um elevado índice salino, prejudicando a absorção de nutrientes pelas plantas (FREIRE, 2013).

A saturação por bases (V%) ideal para as brássicas é acima de 80% (MELO, 2015; FREIRE et al., 2022). Os valores iniciais de V% nos tratamentos sem aplicação de cama de aviário foram de 59,67% no Ensaio 1 (solo sem calagem), e de 71% no Ensaio 2 (solo com calagem). Estes valores foram incrementados com a aplicação de cama de aviário, alcançando-se cerca de 70% e 80% nos Ensaios 1 e 2, respectivamente (Tabelas 5 e 6). De igual forma, em ambos os ensaios, a aplicação de cama de aviário no geral resultou em incrementos nos valores de CTC, MO e C. O aumento nos valores de CTC é favorável pois pode aumentar a eficiência na aplicação de nutrientes para as plantas, evitando-se perdas por lixiviação (FREIRE et al., 2013). Os solos dos dois ensaios divergiam quanto aos valores iniciais de pH do solo, sendo 5,1 (Ensaio 1) e 5,4 (Ensaio 2). A aplicação de cama de aviário resultou em ligeira elevação do pH de ambos os solos (Tabelas 5 e 6).

4.3.1 Em solo sem calagem

Foram registrados efeitos significativos ($p \leq 0,05$) de inoculação e da interação inoculação x adubação sobre todas as variáveis relacionadas à intensidade da doença (severidade, massa fresca e volume de raízes sadias, porcentagens de hérnias nas raízes com base na massa e volume, e massa seca total de raízes – SEV, MFRS, VRS, PMFH, PVRH e MSRT, respectivamente) (Anexo C). A época de aplicação da cama de aviário também afetou as variáveis relacionadas à intensidade da doença, exceto massa fresca e volume de raízes sadias (Anexo C).

A incidência e a severidade média de hérnia das crucíferas em plantas dos tratamentos com inoculação foi elevada, 100% e 85,33%, respectivamente e, a porcentagem de massa fresca e de volume de galhas nas raízes também foi alta - de 86,08% e de 86,20%, respectivamente. E esta alta intensidade da doença resultou em perdas significativas de massa fresca e volume de raízes sadias (Tabela 8).

Tabela 8. Efeito da interação entre adubação – cama de aviário compostada aplicada aos 14, 7 dias anteriores e no dia do transplantio (0 DAAT, 7 DAAT e 14 DAAT) e adubação mineral em equivalente NPK - e inoculação ou não com esporos resistentes de *Plasmodiophora brassicae* sobre a severidade da doença; massa fresca da raiz sadia; porcentagem de massa fresca de raízes com galhas; volume de raízes sadias e porcentagem de volume com galhas; e massa seca total de raízes de plantas de brócolis (cv. Coliseu). Solo sem calagem. Ensaio em casa de vegetação do Setor de Horticultura. UFRRJ, 2022.

Inoculação	NPK	Adubação		
		Cama de aviário		
		0 DAAT	7 DAAT	14 DAAT
Severidade (%)				
Testemunha	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Ab
<i>P. brassicae</i>	57,50 Ba	93,83 Aa	95,00 Aa	95,00 Aa
Massa fresca da raiz sadia (g)				
Testemunha	30,83 Ba	71,67 Aa	79,17 Aa	102,50 Aa
<i>P. brassicae</i>	31,67 Aa	10,00 Bb	4,50 Bb	2,50 Bb
Porcentagem em massa fresca da raiz com hérnia (%)				
Testemunha	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Ab
<i>P. brassicae</i>	53,99 Ba	94,54 Aa	97,32 Aa	98,50 Aa
Volume da raiz sadia (mL)				
Testemunha	28,83 Ba	82,67 Aa	89,67 Aa	97,83 Aa
<i>P. brassicae</i>	30,50 Aa	9,50 Bb	3,00 Bb	1,17 Bb
Porcentagem em volume de raiz com hérnia (%)				
Testemunha	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Ab	0,00 Ab
<i>P. brassicae</i>	53,25 Ba	94,18 Aa	98,06 Aa	99,33 Aa
Massa seca da raiz total (g)				
Testemunha	3,18 Cb	15,97 Ba	23,89 ABa	30,97 Aa
<i>P. brassicae</i>	7,85 Aa	14,47 Aa	13,54 Ab	13,73 Ab

*Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A resposta das plantas à adubação nas parcelas inoculadas e não inoculadas foi distinta. Em parcelas não inoculadas, a massa fresca e o volume de raízes sadias foram significativamente maiores nas plantas dos tratamentos com cama de aviário comparado às da testemunha (NPK mineral) enquanto nas parcelas inoculadas ocorreu o inverso, menor massa e volume de raízes sadias nas plantas tratadas com cama de aviário comparadas às da testemunha com NPK (Tabela 8). Este resultado benéfico da adubação com cama de aviário nas parcelas testemunhas deve-se ao aporte de nutrientes e melhoria das condições físicas do solo pela cama de aviário (VIANA et al., 2020; LEAL, 2023) e consequente favorecimento ao desenvolvimento radicular. Contudo, este efeito positivo da cama de aviário foi anulado pelo favorecimento da doença devido a adubação com a cama de aviário, identificado pela maior intensidade da doença e menor massa e volume de raízes sadias comparado ao observado nas plantas das testemunhas não inoculadas (Tabela 8). Ou seja, a cama de aviário favoreceu os processos de infecção e colonização por *P. brassicae*, expresso pelos valores significativamente

maiores de severidade de hérnia das crucíferas e de porcentagem e volume de raízes com galhas, decorrentes do aumento das galhas e redução da massa e volume de raízes sadias (Tabela 8). Depreende-se assim que os efeitos benéficos da cama de aviário não foram capazes de compensar as perdas de raízes ativas causadas pela hérnia das crucíferas ou foram inferiores ao efeito promotor da doença. Note-se ainda que, a época de aplicação da cama de aviário, aos 14 e 7 dias antes do transplantio ou no dia do transplantio, não afetou o desenvolvimento radicular nem o desenvolvimento da doença (Tabela 8). Ou seja, independente da época de aplicação, a cama de aviário favoreceu o desenvolvimento da hérnia das crucíferas, similar ao observado por Santos (2020). Não houve efeito da adubação sobre a massa seca total da raiz (MSRT) nas parcelas inoculadas, possivelmente por embutir raízes sadias e com galhas. Mas, nas parcelas não inoculadas houve incrementos significativos de massa seca total das raízes com a adição de cama de aviário, notavelmente quando feita 14 dias antes do transplantio das mudas (Tabela 8).

Estes efeitos da inoculação, da adubação e da interação entre estes sobre a intensidade da doença e sobre o desenvolvimento de raízes sadias afetaram diretamente o desenvolvimento vegetativo e reprodutivo da planta. Houve efeito significativo de inoculação sobre todas as variáveis analisadas (número e massa fresca de folha; massa fresca de caule; massa fresca e diâmetro das inflorescências; massa seca de folha, caule, inflorescência e total); de época de aplicação sobre a massa fresca de folha e inflorescência e massa seca de folhas; e da interação inoculação x adubação sobre todas as variáveis, exceto número de folhas (Anexo C).

A hérnia das crucíferas, resultante da inoculação, reduziu significativamente o desenvolvimento de todos os órgãos aéreos das plantas cultivadas em solo adubado com a cama de aviário, independente da época de aplicação (Tabela 9), em decorrência direta da redução da massa e volume de raízes sadias (Tabela 8). Nas plantas cultivadas em solo sem aplicação de cama de aviário, não houve diferenças significativas entre as plantas inoculadas ou não inoculadas quanto ao crescimento ou acúmulo de massa (Tabela 9), mesmo com 57% de severidade da doença e 53% de massa e volume radicular comprometido com galhas (tabela 8). Este efeito deve-se à não alteração ou não efeito da doença sobre a massa e volume de raízes sadias (Tabela 8), o que confirma os relatos de Santos et al. (2017) e Santos et al. (2018), de que raízes sadias afetam mais o desenvolvimento da planta e produção do que a massa e volume de galhas. Assim como observado para as variáveis relacionadas à intensidade da doença e desenvolvimento radicular, a época de aplicação da cama de aviário, aos 14 ou aos 7 dias antes do transplantio ou no dia do transplantio, apesar de pequenas variações, não afetou de forma significativa o desenvolvimento e acúmulo de massa nos órgãos aéreos da planta (Tabela 9).

Tabela 9. Efeito da interação entre adubação – cama de aviário compostada aplicada aos 14, 7 dias anteriores e no dia do transplantio (0 DAAT, 7 DAAT e 14 DAAT) e adubação mineral em equivalente NPK - e inoculação ou não com esporos resistentes de *Plasmodiophora brassicae* sobre a massa fresca e seca de folha, caule e inflorescência; massa seca da parte aérea e diâmetro longitudinal de inflorescência de brócolis (cv. Coliseu). Solo sem calagem. Ensaio em casa de vegetação do Setor de Horticultura. UFRRJ, 2022.

Inoculação	Adubação		
	NPK	Cama de aviário	
		0 DAAT	7 DAAT
Massa fresca da folha (g)			
Testemunha	420,00 Aa	458,33 Aa	485,67 Aa
<i>P. brassicae</i>	465,00 Aa	260,83 Bb	264,17 Bb
Massa seca da folha (g)			
Testemunha	35,98 Aa	39,84 Aa	43,18 Aa
<i>P. brassicae</i>	44,56 Aa	23,13 Bb	23,02 Bb
Massa fresca do caule (g)			
Testemunha	100,00 Aa	126,67 Aa	136,67 Aa
<i>P. brassicae</i>	113,33 Aa	78,33 ABb	62,50 Bb
Massa seca do caule (g)			
Testemunha	8,86 Aa	10,94 Aa	11,03 Aa
<i>P. brassicae</i>	8,91 Aa	7,09 ABb	5,26 ABb
Diâmetro longitudinal da inflorescência (cm)			
Testemunha	8,25 Aa	12,25 Aa	12,92 Aa
<i>P. brassicae</i>	8,08 ABa	8,33 Aba	8,75 Aa
Massa fresca da inflorescência (g)			
Testemunha	72,33 Ba	198,33 Aa	199,17 Aa
<i>P. brassicae</i>	62,08 Aa	76,67 Ab	67,50 Ab
Massa seca da inflorescência (g)			
Testemunha	9,16 Ba	19,02 Aa	18,74 Aa
<i>P. brassicae</i>	8,79 Aa	8,35 Ab	8,08 Ab
Massa seca da parte aérea (g)			
Testemunha	53,99 Ba	69,80 Aba	72,94 Aa
<i>P. brassicae</i>	62,26 Aa	38,57 Bb	36,36 Bb

*Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

A importância da massa e volume de raízes sadias para a produção de couve-flor pode ser confirmada pelos resultados observados nas parcelas testemunhas não inoculadas, onde houve ganho de massa e volume de raízes sadias com a adubação com cama de aviário, independente da época de aplicação e consequentes ganhos em massa fresca e seca das inflorescências (Tabela 9). Nestas parcelas, apesar de não se detectar efeitos da adubação com cama de aviário comparado à testemunha (NPK e sem cama de aviário) sobre desenvolvimento vegetativo, expresso pelo número e massa seca e fresca de folhas e massa fresca e seca de caule, houve ganhos significativos na massa fresca e seca das inflorescências, independente da época de aplicação da cama de aviário. Os valores obtidos foram cerca de 2,75 vezes superiores aos registrados no tratamento sem cama de aviário, mas com equivalente aporte de NPK mineral

(Tabela 9). Esse fato pode estar associado à rápida liberação de N nas plantas em que foi feita a adubação com NPK mineral e possível retardo no florescimento ou extensão da fase vegetativo, haja vista o alto crescimento vegetativo. Oliveira et al. (2016) observaram que em doses elevadas de N para a produção de brócolis americano (híbrido Lord Summer), a sua assimilação se aloca principalmente no desenvolvimento foliar, proporcionando um menor desenvolvimento da inflorescência.

Nas parcelas inoculadas, apesar de pequenas variações, o acúmulo de massa fresca e seca nas inflorescências foram equivalentes ao observado nas parcelas adubadas com NPK mineral, mesmo com as perdas em massa e volume de raízes sadias, e de massa de folhas e caules. O diâmetro longitudinal das inflorescências, que afeta diretamente a classificação comercial, foi pouco ou nulamente afetado pelos tratamentos, seja de inoculação ou de adubação, exceto no tratamento com aplicação de cama de aviário aos 14 dias antes do transplantio em parcelas inoculadas. Neste, o diâmetro foi significativamente menor na parcela inoculada comparada à testemunha e, nas parcelas inoculadas, significativamente menor que o registrado nos demais tratamentos de adubação. Em geral, o diâmetro das inflorescências situou-se na faixa de 8,25 a 13,25 cm nas plantas não inoculadas e de 8,75 a 8,08 cm nas plantas inoculadas, exceto no tratamento acima referido (plantas inoculadas e cultivadas em solo adubado com cama de ave aos 14 dias antes do transplantio) que foi de 4,75 cm (Tabela 9). Estes diâmetros, podem ser considerados pequenos para brócolis, mas é compatível com o esperado para a cultivar, super precoce, e para as condições do período.

Apesar do pouco efeito da inoculação sobre o diâmetro das inflorescências, deve ser considerado, porém, que o mesmo resultou em perdas médias de massa fresca e seca de inflorescência na ordem de 56% e 33%, respectivamente, o que demonstra o impacto da hérnia das crucíferas na produção e qualidade das inflorescências produzidas (Tabela 9). Observou-se maiores perdas de massa fresca e seca de inflorescência no tratamento com aplicação de cama de aviário aos 14 dias antes do transplantio em parcelas inoculadas, 86% e 64%, respectivamente; e menor perda no tratamento sem a aplicação da cama de aviário, 14% e 2%, respectivamente (Tabela 9).

Para a massa seca total da parte aérea, observou-se nas plantas não inoculadas maiores valores para os tratamentos com cama de aviário, principalmente quando aplicada aos 7 dias anteriores ao transplantio. Enquanto nas plantas inoculadas destacou-se o tratamento isento de aplicação de cama de aviário, sendo este superior aos demais (Tabela 9).

4.3.2 Em solo com calagem

No segundo ensaio, realizado em solo previamente tratado com calcário, a intensidade da doença foi bem maior que a observada no primeiro ensaio: 100% de incidência de plantas com hérnia nas parcelas inoculadas e severidade média igual a 95%. Esta condição drástica impediu a observação dos efeitos dos tratamentos de adubação sobre o desenvolvimento da planta e sobre a própria doença. Tanto que, somente foram observados efeitos significativos de inoculação sobre as variáveis relacionadas à intensidade da hérnia das crucíferas e nenhum efeito de adubação e da interação adubação x inoculação sobre estas variáveis. E, seguindo a mesma tendência, detectou-se efeitos significativos de inoculação sobre as variáveis relacionadas ao desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas e, efeito de adubação somente sobre algumas variáveis relacionadas ao crescimento vegetativo - número e massa fresca e seca de folhas e massa seca de inflorescências (Anexo D).

A incidência e a severidade média de hérnia das crucíferas em plantas dos tratamentos com inoculação foi elevada, 100% e 95%, respectivamente e, a porcentagem de massa fresca e de volume de raízes com galhas também foi alta – maior que de 95 e 92%, respectivamente

(Tabela 10). Consequentemente, e similar ao observado no primeiro ensaio, esta alta intensidade da doença resultou em perdas significativas de massa fresca e volume de raízes sadias (Tabela 10). Os danos às raízes e perda em massa e volume em raízes sadias devido à doença, resultaram em perdas significativas no desenvolvimento vegetativo das plantas (número e massa fresca e seca das folhas; massa fresca e seca de caule), reprodutivo (diâmetro e massa seca de inflorescências) e no acúmulo total de massa seca da parte aérea (Tabela 11). As perdas de massa seca de parte aérea devido à doença foi de 36,44% e as de biomassa fresca das inflorescências foi de 51,31%.

Tabela 10. Efeito da inoculação com esporos de *Plasmiodiophora brassicae* sobre a severidade média da hérnia das crucíferas, massa fresca da raiz sadia, porcentagem de hérnias com base na massa fresca (PMFH) e no volume (PVH), volume de raiz sadia e massa seca total da raiz em plantas de brócolis (cv. Coliseu). Solo com calagem. Ensaio em casa de vegetação do Departamento de Solos. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Inoculação	NPK	Adubação			
		Cama de aviário			Média
		0 DAAT	7 DAAT	14 DAAT	
Severidade (%)					
Testemunha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 b
<i>P. brassicae</i>	95,00	95,75	95,00	95,00	95,19 a
Massa fresca da raiz sadia (g)					
Testemunha	48,75	58,75	50,00	58,33	53,96 a
<i>P. brassicae</i>	7,50	4,50	10,00	2,50	6,13 b
Porcentagem em massa fresca da raiz com hérnia (%)					
Testemunha	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00 b
<i>P. brassicae</i>	95,81	97,96	95,56	99,15	97,12 a
Volume da raiz sadia (mL)					
Testemunha	48,50	50,00	44,50	50,0	48,25 a
<i>P. brassicae</i>	13,00	4,50	12,00	2,00	7,88 b
Porcentagem em volume de raiz com hérnia (%)					
Testemunha	0,00	0,00	0,00	0,0	0,00 b
<i>P. brassicae</i>	92,74	97,84	94,45	99,28	96,08 a
Massa seca da raiz total (g)					
Testemunha	7,80	11,66	9,53	11,99	10,25 b
<i>P. brassicae</i>	16,02	19,58	18,29	19,75	18,41 a

*Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra, minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Diferente do observado no primeiro ensaio, sem calagem, não houve resposta das plantas em termos de acúmulo de biomassa e crescimento devido à adubação nas plantas inoculadas, provavelmente devido à alta intensidade da hérnia das crucíferas em todos os tratamentos. Os efeitos da adubação foram discretos e variaram de acordo com as variáveis avaliadas. De forma geral as épocas de aplicação da cama de aviário não diferiram entre si, nem do tratamento testemunha com adubação com NPK. De forma discreta, porém, melhor resposta da planta foi observada no tratamento com aplicação da cama de aviário aos sete dias antes do transplantio. Neste tratamento, observaram-se maior número e massa fresca e seca de folhas e maior diâmetro e massa seca de inflorescência, mesmo que nem sempre tenha diferido estatisticamente dos demais tratamentos. A aplicação aos sete dias antes do transplantio resultou, em geral, em maior desenvolvimento vegetativo, número e massa fresca e seca de

folha, e o tratamento com aplicação aos 14 dias antes do transplantio implicou em menor desenvolvimento reprodutivo, diâmetro e massa seca da inflorescência (Tabela 11).

Tabela 11. Efeito da interação entre as épocas de aplicação da cama de aviário compostada por 60 dias: sem a aplicação da cama de aviário, aplicação da cama de aviário no momento do transplantio (0 DAAT), aplicação da cama de aviário aos 7 e 14 dias anteriores ao transplantio (DAAT); e inoculação ou não com *Plasmodiophora brassicae* sobre as massas frescas e secas de folha, caule e inflorescência; massa seca da parte aérea e diâmetro longitudinal de inflorescência de brócolis (cv. Coliseu), cultivadas em casa de vegetação do Departamento de Solos, em solo com calagem, UFRRJ, 2022.

Inoculação	NPK	Adubação			Média	
		Cama de aviário				
		0 DAAT	7 DAAT	14 DAAT		
Número de folhas						
Testemunha	18,75	18,25	18,75	17,50	18,31 a	
<i>P. brassicae</i>	15,25	15,00	17,75	13,75	15,44 b	
Média	17,00 AB	16,63 AB	18,25 A	15,63 B		
Massa fresca da folha (g)						
Testemunha	591,25	406,25	446,25	307,50 b	437,81 a	
<i>P. brassicae</i>	365,00	283,75	387,50	232,75 a	317,25 b	
Média	478,13 A	345,00 AB	416,88 A	270,13 B		
Massa seca da folha (g)						
Testemunha	53,87	41,40	42,63	32,62	42,63 a	
<i>P. brassicae</i>	33,15	28,04	33,73	24,81	29,93 b	
Média	43,51 A	34,72 AB	38,18 AB	28,72 B		
Massa fresca do caule (g)						
Testemunha	157,50	117,50	138,75	107,50	130,31 a	
<i>P. brassicae</i>	87,50	80,00	105,00	71,25	85,94 b	
Média	122,50 A	98,75 A	121,88 A	89,38 A		
Massa seca do caule (g)						
Testemunha	15,63	10,30	13,03	11,41	12,59 a	
<i>P. brassicae</i>	7,86	7,02	9,08	6,91	7,72 b	
Média	11,74 A	8,66 A	11,06 A	9,16 A		
Massa fresca da inflorescência (g)						
Testemunha	116,25	205,00	163,75	115,00	150,00 a	
<i>P. brassicae</i>	56,25	71,25	121,25	60,50	77,31 b	
Média	86,25 A	138,13 A	142,50 A	87,75 A		
Massa seca da inflorescência (g)						
Testemunha	13,07	19,82	22,22	13,50	17,15 a	
<i>P. brassicae</i>	6,25	8,22	11,90	7,04	8,35 b	
Média	9,66 B	14,02 AB	17,06 A	10,27 AB		
Diâmetro longitudinal da inflorescência (cm)						
Testemunha	10,38	13,75	13,75	10,63	12,13 a	
<i>P. brassicae</i>	7,75	9,63	13,25	8,13	9,69 b	
Média	9,07 B	11,69 AB	13,5 A	9,38 B		
Massa seca da parte aérea (g)						
Testemunha	82,57	71,53	77,87	57,54 a	72,38 a	
<i>P. brassicae</i>	47,25	43,29	54,70	38,75 a	46,00 b	
Média	64,91 A	57,41 A	66,29 A	48,15 A		

*Para cada variável, médias seguidas pela mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

Santos (2020) observou aumento na intensidade da hérnia das crucíferas com a adubação de plantio com cama de aviário compostada por 45 dias. Igualmente, Lima et al. (2022) registraram, em couve flor, aumento na severidade da doença com a adição da cama de aviário compostada por 15 e 30 dias. No presente trabalho, notou-se um aumento da intensidade da doença em plantas adubadas com cama de aviário, independente da época de aplicação. Ainda, em ambos os ensaios se observou menor severidade e melhor desenvolvimento radicular, e consequentemente melhor desenvolvimento das plantas adubadas com NPK mineral. A resposta nestes dois ensaios, similar à encontrada por Lima et al. (2022) com cama de aviário fresca, pode estar associada ao maior teor de nitrogênio disponível para as plantas (CHEN & JIANG, 2014; ROGERI et al., 2016; LIMA, 2019; SANTOS et al., 2021a) na cama de aviário e à pronta disponibilidade do N no adubo mineral.

Dada a grande variabilidade e complexidade dos fatores relacionados à composição e maturidade dos compostos orgânicos, bem como à natureza do patógeno e atributos do solo, não se tem como fazer uma recomendação segura de adubação com compostos orgânicos que levem à redução de perdas ou controle da doença. Cada fertilizante orgânico pode apresentar composição diferente, tempo de liberação de nutrientes, dentre outros. Lazarovits et al. (2005) afirmam que a aplicação antecipada de composto orgânico ao solo pode ser mais favorável ao controle de fitopatógenos por estender o período de contato do adubo e dos seus efeitos sobre o solo. No entanto, no presente caso, a inoculação foi feita no dia do transplantio, os esporos não ficaram expostos previamente aos adubos aplicados. Além disso, o *P. brassicae* sobrevive no solo a partir de esporos resistentes, ficando vulnerável ao solo somente após a sua germinação em resposta a exsudados radiculares de plantas hospedeiras (KAGEYAMA & ASANO, 2009; BASNET et al., 2018).

No primeiro ensaio, foi possível observar nas plantas não inoculadas um desenvolvimento radicular superior nos tratamentos adubados com cama de aviário, independente da época de aplicação. Este resultado deve-se, provavelmente, às melhorias das propriedades físicas e químicas do solo promovidas pela adição da cama de aviário (SIQUEIRA & SIQUEIRA et al., 2013; TRANI et al., 2013; VIANA et al., 2020). O desenvolvimento da parte aérea das plantas não inoculadas, de modo geral, também foi superior nas parcelas adubadas com cama de aviário, especialmente quando aplicada aos 7 dias anteriores ao transplantio (DAAT). Diniz et al. (2021) também observaram ganhos no sistema radicular sadio e na parte aérea quando realizada à adubação com cama de aviário compostada por 60 dias em relação à testemunha (sem aplicação) em plantas de rúcula. Do mesmo modo, Salamandane et al. (2022), observaram ganho em massa fresca de plantas de nabo com diferentes doses da aplicação de cama de aviário no plantio.

Já no segundo ensaio, não houve efeito da adubação, ou diferenças entre os adubos ou épocas de aplicação sobre o desenvolvimento radicular e de parte aérea das plantas de brócolis. Os tratamentos envolvendo adubação, no geral, foram equivalentes entre si ou pouco afetaram estas variáveis. Resultados similares foram obtidos por Lima et al. (2022) que não observaram efeito no desenvolvimento radicular e da parte aérea de plantas de couve-flor com a adição da cama de aviário compostada por 30 dias em relação ao tratamento controle (sem aplicação). Debrah et al. (2020) constataram que a adição de fertilizantes orgânicos e inorgânicos aumenta o desenvolvimento e produção do repolho, com desenvolvimento similar das plantas adubadas com cama de aviário e com formulado NPK (15-15-15). Estes resultados indicam que em que aplicação da cama de aviário fornece nutrientes quantidade suficiente para o desenvolvimento de brássicas e com efeito igual ou superior ao obtido com fertilizante mineral, que tem liberação rápida.

Registraram-se inflorescências de maiores tamanhos nos tratamentos com a aplicação da cama de aviário que com adubação mineral. No primeiro ensaio, a massa média da inflorescência nos tratamentos com a aplicação do composto orgânico foi de 200 g e o diâmetro médio de 12,8 cm (Tabela 9). Já no segundo ensaio, apesar de terem sido observadas diferenças significativas entre os tratamentos de adubação - épocas de aplicação ou tipo de adubo utilizado – não houve interação com a inoculação e desenvolvimento da doença. No entanto, o efeito deletério da inoculação e da doença foi inequívoco comparado ao tratamento testemunha. E apesar do diâmetro médio das inflorescências (12 cm) e da massa média (150 g) terem sido reduzidos nas parcelas testemunhas comparadas aos melhores padrões comerciais 300 a 500 g e diâmetro entre 12 a 15 cm (LUENGO & MELO, 2022), deve-se considerar as condições adversas da região e a característica da cultivar Coliseu - super precoce (ciclo de 60 dias), porte médio e resistente a altas temperaturas.

Portanto, pode-se afirmar que, em ambos os ensaios, a hérnia das crucíferas afetou severamente o desenvolvimento do brócolis, independente da adubação utilizada; que a adubação com cama de aviário compostada por 60 dias não contribuiu para reduzir as perdas pela doença, ao contrário, contribuiu para sua promoção no solo sem calagem prévia. No entanto, na ausência do patógeno e da doença, a fertilização com cama de aviário compostada contribuiu para a promoção do desenvolvimento das raízes e desenvolvimento vegetativo e reprodutivo das plantas de brócolis, independente da época de sua aplicação, no ato do transplantio ou aos 7 ou 14 dias anteriores.

5 CONCLUSÕES

- 1) A cama de aviário compostada por 60 dias, em dose equivalente a 90 kg de N ha⁻¹, favoreceu o desenvolvimento vegetativo das plantas de brócolis;
- 2) Altas concentrações de inóculo, $4,2 \times 10^6$ esporos por g de solo, prejudicou o desenvolvimento da planta e dificultou a visualização de efeito da cama de aviário sobre a intensidade da hérnia das crucíferas;
- 3) Densidade de inóculo mediana, $1,4 \times 10^4$ esporos por g de solo, permitiu a obtenção de alta incidência e severidade de hérnia das crucíferas, porém, sem comprometer de forma drástica o acúmulo de biomassa nas plantas;
- 4) A cama de aviário, independente da época de aplicação, pode favorecer o desenvolvimento da hérnia das crucíferas em brócolis;
- 5) A adubação de brócolis com a cama de aviário compostada por 60 dias, independente da época de aplicação, favoreceu o desenvolvimento vegetativo da planta.
- 6) A cama de aviário, dependendo das condições, pode favorecer a hérnia das crucíferas.

6 REFERÊNCIAS

- ADAMI, P. F.; PELISSARI, A.; MORAES, A. D.; MODOLLO, A. J.; ASSMANN, T. S.; FRANCHIN, M. F.; CASSOL, L. C. Grazing intensities and poultry litter fertilization levels on corn and black oat yield. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 3, p. 360-368, 2012.
- AGROFIT – Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. **Consulta de praga/doença**. 2022. Disponível em: https://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 30 de janeiro de 2023.
- AVISITE: O portal da avicultura. **Notícias**. 2021. Disponível em: <https://www.avisite.com.br/index.php?page=noticias&id=24379>. Acesso em: 01 out. 2021.
- BASNET, T. B. et al. Management of clubroot disease of cauliflower in Kavre, Nepal. In: SCIENCES, In: Nepalese Journal of Agricultural (org.). **Nepalese Journal of Agricultural Sciences**. 17. Nepal: Himalayan College of Agricultural Sciences & Technology, 2018, p. 94-100.
- BERNAL, M.P.; ALBURQUERQUE, J.A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 22, p. 5444–5453, 2009.
- BHERING, A. S.; CARMO M. G. F.; COELHO, I. S.; LIMA, E. S. A.; DE CARVALHO, C. F.; SARAIVA, A. L. R. F.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Soil management in a mountain agroecosystem and clubroot disease. **Plant Pathology**, v. 69, n. 2, p. 302-309, 2020.
- BHERING, A. S.; CARMO, M. G. F.; MATOS, T. S.; LIMA, E. S. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B. Soil factors related to the severity of clubroot in Rio de Janeiro, Brazil. **Plant Disease**, v. 101, n. 8, p. 1345–1353, 2017.
- BONANOMI, G.; LORITO, M.; VINALE, F.; WOO, S. L. Organic amendments, beneficial microbes, and soil microbiota: toward a unified framework for disease suppression. **Annual Review of Phytopathology**, v. 56, p. 1-20, 2018.
- BOTERO, A.; GARCÍA, C.; GOSSEN, B. D.; STRELKOV, S. E.; TODD, C. D.; BONHAM-SMITH, P. C.; PÉREZ-LÓPEZ, E. Clubroot disease in Latin America: distribution and management strategies. **Plant Pathology**, v. 68, n. 5, p. 827–833, 2019.
- CHEN, Z.; JIANG, X. Microbiological safety of chicken litter or chicken litter-based organic fertilizers: a review. **Agriculture**, v. 4, n. 1, p. 1-29, 28, 2014.
- COLOMBARI, L. F.; BALDINI, L. F. G.; SILVA, F. Z.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; GOTO, R. Controle químico da hérnia das crucíferas em rúcula cultivada em campo naturalmente infestado. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 4, p. 231–240, 2018.
- CONDÉ, V. F.; OLIVEIRA, D. M.; OLIVEIRA, J. E. Z. Incidência e severidade de hérnia das crucíferas (*Plasmoidiophora brassicae* W.) em repolho (*Brassica oleracea* var. *capitata*) em solo tratado com biofertilizante tipo bokashi. **Ciência e Natura**, v. 39, n. 1, p. 7, 2017.
- DEBRAH, P. Y.; AFRIYIE-DEBRAH, C.; NUHU, F.; RIBEIRO, P. F.; OBENG, E. A. Response of cabbage (*Brassica oleracea* var *capitata* l.) To organic and inorganic fertilizer. **Journal of Experimental Agriculture International**, v. 43, n. 2, p. 105-114, 2021. DOI: 10.9734/JEAI/2021/v43i230651
- DINIZ, C. S.; CRUZ, L. C. C. D.; SANTOS, C. A.; SOUZA, C. C. B.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; CARMO, M. G. F. Cama de aviário no crescimento de plantas de rúcula e ocorrência

da hérnia das crucíferas. In: Anais do I Simpósio Ibero-American de Ciência do Solo. Seropédica (RJ) UFRRJ, 2021. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/SIACS2021/409639-CAMA-DE-AVIARIO-NO-CRESCIMENTO-DE-PLANTAS-DE-RUCULA-E-OCORRENCIA-DA-HERNIA-DAS-CRUCIFERAS>>. Acesso em: 04/08/2022

DIXON, G. R. The occurrence and economic impact of *Plasmodiophora brassicae* and clubroot disease. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 3, p. 194–202, 2009a.

DIXON, G. R. *Plasmodiophora brassicae* in its environment. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 3, p. 212–228, 2009b. DOI 10.1007/s00344-009-9098-3

DIXON, G. R. Special Issue: Clubroot (*Plasmodiophora brassicae* Woronin) - an agricultural and biological challenge worldwide. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 36, n. S1, p. 5–18, 2014.

DIXON, G. R.; PAGE, L. V. Calcium and nitrogen eliciting alterations to growth and reproduction of *Plasmodiophora brassicae* (clubroot). **Acta Horticulture**, v. 459, p. 343-349, 1998.

DIXON, G. R.; TILSTON, E. L. Soil-borne pathogens and their interactions with the soil environment. In: DIXON, G. R.; TILSTON, E. L. (eds.). **Soil Microbiology and Sustainable Crop Production**. Springer Dordrecht Heidelberg London New York, 2010, p. 197–271.

DONALD, C.; PORTER, I. J. A sand-solution culture technique used to observe the effect of calcium and Ph on root hair cortical stages of infection by *Plasmodiophora brassicae*. **Australasian Plant Pathology**, v. 33, p. 585-589, 2004.

DONALD, C.; PORTER, I. Integrated control of clubroot. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 3, p. 289, 2009.

DUARTE, L. O.; AQUINO, L. A.; OLIVEIRA, T. F.; CLEMENTE, J. M. Adubação e nutrição. In: NICK, C.; BORÉM, A. (eds.). **Brássicas: do plantio à colheita**. UFV, Viçosa, MG, 2022, p. 121-142.

EMATER-RJ – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado do Rio de Janeiro. **Acompanhamento Sistemático da Produção Agrícola - ASPA**. 2020. Disponível em: www.emater.rj.gov.br. Acesso em: 3 outubro 2022.

FAOSTAT – Food and Agriculture Organization. **Cultivos**. 2020. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>> Acesso em 26 de fevereiro de 2021.

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

FERREIRA, P. A. **Avaliação de um fertilizante organomineral com atividade nematicida**. 2012. 73 f. Tese (Doutorado em Fitopatologia), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

FERREIRA, S.; SOUZA, R. J.; GOMES, L. A. A. Produtividade de brócolis de verão com diferentes doses de bokashi. **Revista Agrogeoambiental**, v. 5, n. 2, p.31-38, 2013.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008. 421 p.

FREIRE, L. R.; BALIEIRO, F. C.; ZONTA, E.; ANJOS, L. H. C.; PEREIRA, M. G.; LIMA, E.; GUERRA, J. G. M.; FERREIRA, M. B. C.; LEAL, M. A. A.; CAMPOS, D. V. B.;

POLIDORO, J. C. **Manual de adubação e calagem do Estado do Rio de Janeiro.** 1. Ed. Brasília: Embrapa, 2013. 430 p.

GHINI, R.; HAMADA, E.; BETTIOL, W. (ed.). **Impactos das mudanças climáticas sobre doenças de importantes culturas no Brasil.** Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2011. 356 p.

GOSSEN, B.D.; DEORA, A.; PENG, G.; HWANG, S.F.; MCDONALD, M. R. Effect of environmental parameters on clubroot development and the risk of pathogen spread. **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 36, sup1, p. 37-48, 2014.

GOSSEN, B. D.; KASINATHAN, H.; DEORA, A.; PENG, G.; MCDONALD, M. R. Effect of soil type, organic matter content, bulk density and saturation on clubroot severity and biofungicide efficacy. **Plant Pathology**, v. 65, p. 1238–1245, 2016.

GRISEL, P.N.; ASSIS, R.N. Dinâmica agrária da Região Sudoeste do município de Nova Friburgo e os atuais desafios de sua produção hortícola familiar. **Documentos**, nº 299, Embrapa Agrobiologia, Seropédica-RJ, 2015.

GUERRA, J.G.M.; LEAL, M.A.A., FERREIRA, M.B.C. Recomendações de adubos, corretivos e de manejo da matéria orgânica para as principais culturas do Estado do Rio de Janeiro: Bróculos, couve, couve-flor e repolho. In: FREIRE, L.R. (Org.). **Manual de calagem e adubação do Estado do Rio de Janeiro.** Seropédica, RJ: Editora Universidade Rural, 2013. p.107-128.

HADAR, Y.; PAPADOPOULOU, K. K. Suppressive composts: microbial ecology links between abiotic environments and healthy plants. **Annual Review of Phytopathology**, v. 50, n. 1, p. 133–153, 2012.

HOLTZ, A. M.; RONDELLI, V. M.; CELESTINO, F. N.; BESTETE, L. R.; CARVALHO, J. R. (ed.). **Pragas das brássicas.** Colatina: IFES, 2015. 230 p. Disponível em:<https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/bitstream/item/2351/1/BRTLivroPragasdasBrasicas-ifes.pdf>. Acesso em: 7 julho 2021.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário.** 2017. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6619>. Acesso em: 3 outubro 2022.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Temperaturas diárias (Máxima, Média e Mínima).** 2021. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/Graficos/A001>. Acesso 9 de fevereiro de 2022.

IROKAWA, F.M.; ZAMBOLIM, L.; PARREIRA, D.F. Interaction between a biostimulant and cyazofamid in the control of clubroot of crucifers under conditions of high disease density. **Summa Phytopathologica**, v. 46, n.1, p. 46-48, 2020.

KAGEYAMA, K.; ASANO, T. Life cycle of *Plasmodiophora brassicae*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 28, n. 3, p. 203–211, 2009.

KELLEHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHEN, A. M.; O'DWYER, T. F.; SUTTON, D.; LEAHY, M. J. Advances in poultry litter disposal technology – a review. **Bioresouce Technology**, v. 83, p. 27-36, 2002.

KYAKUWAIRE, M.; OLUPOT, G.; AMODING, A.; NKEDI-KIZZA, P.; BASAMBA, T. A. How Safe is Chicken Litter for Land Application as an Organic Fertilizer?: A Review. **Environmental Research and Public Health**, v. 16, p. 1-23, 2019.

LAZAROVITS, G.; CONN, K. L.; ABASSI, P. A. Understanding the mode of action of organic soil amendments provides the way for improved management of soilborne plant

pathogens. **Acta Horticulturae**, v. 698, p. 215-224, 2005.

LEAL, M. A. A. TÉCNICAS E PROCEDIMENTOS DE COMPOSTAGEM. In: AMARAL SOBRINHO, N. M. B. LIMA, E. S. A.; BREDA, F. A. F.; SANTOS, C. A.; SOUZA, C. C. B. **Substâncias Húmicas no Processo de Compostagem: gênese, caracterização e aplicação**. Seropédica, RJ: Interciência, 2023, cap. 2, p. 25-44.

LIMA, J. O. **Tempo de compostagem de cama de aves e seus efeitos no desenvolvimento de plantas de couve-flor e na severidade da hérnia das crucíferas**. 2019. Dissertação (mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

LIMA, J. O.; SANTOS, C. A.; CARMO, M. G. F. Manejo detalhado da produção de brócolis americano. **Revista Campo e Negócios HF**, v. 141, p. 8-11, nov. 2018.

LIMA, J. O.; SANTOS, C. A.; SOUZA, C. C. B.; XAVIER, C. L. B.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; CARMO, M. G. F. Poultry litter composting and its effects on the occurrence of clubroot. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 9, n. 3, e6806, 2022.

LUENGO, R. F. A.; MELO, R. A. C. Colheita, manuseio e comercialização. In: NICK, Carlos; BORÉM, Aluizio (ed.). **BRÁSSICAS: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2022. Cap. 11. p 230-251.

MAGRINI, F. E.; CAMATTI-SARTORI, V.; FINKLER, R.; TORVES, J. VENTURIN L. Características químicas e avaliação microbiológica de diferentes fases de maturação do biofertilizante Bokashi. **Revista Agrarian**, v.4, n.12, p.146-151, 2011.

MARQUELLI, W. A., MELO, R. A. C., BRAGA, M. B. **Irrigação no cultivo de brássicas**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 25p. (Circular Técnico, 158).

MAY, A.; TIVELLI, S. W.; VARGAS, P. F.; SAMRA, A. G.; SACCONI, L. V.; PINHEIRO, M. Q. **A cultura da couve-flor**. Campinas: Instituto Agronômico, 2007. 36 p. (Série Tecnologia APTA, Boletim Técnico IAC, 200).

MEGHVANSI, M. K.; VARMA, A. (Eds.). **Organic amendments and soil suppressiveness in plant disease management** (Vol. 46). Dordrecht: Springer, 2015.

MEHTA, C. M.; PALNI, U.; FRANKE-WHITTLE, I. H.; SHARMA, A. K. Compost: Its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. **Waste Management**, v. 34, p. 607–622, 2014.

MELLO, S. C.; ROLDÁN, G. A. Q.; DANTAS, A. As Brássicas. In: NICK, Carlos; BORÉM, Aluizio (ed.). **BRÁSSICAS: do plantio à colheita**. Viçosa, MG: UFV, 2022. Cap. 1. p 9-25.

MELO, R. A. C.; VENDRAME, L. P. C. **Notícias Embrapa - Produção de brássicas no verão: velhos desafios e novas oportunidades**. 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/3236086/producao-de-brassicas-no-verao-velhos-desafios-e-novas-oportunidades>. Acesso em: 05 janeiro 2021.

MELO, R. A. C. (Ed). **A cultura dos brócolis**. Brasília, DF: Embrapa, 2015.153 p.

MELO, R. A. C.; MADEIRA, N. R.; LIMA, C. E. P. **Produção de brássicas em Sistema Plantio Direto**. Brasília, DF: Embrapa, 2016. 15p. (Circular Técnico, 151).

MURAKAMI, H.; TSUSHIMA, S.; AKIMOTO, T.; SHISHIDO, Y. Reduction of spore density of *Plasmoidiophora brassicae* in soil by decoy plants. **General Plant Pathology**, v. 67, p. 85-88, 2001.

MURAKAMI, H.; KUROYANAGI, Y.; TSUSHIMA, S.; SHISHIDO, Y. Effects of application of organic materials on the development of clubroot disease caused by *Plasmoidiophora*

- brassicae. **The Japanese Society of Soil Microbiology**, v. 63, n. 1, p. 3-8, 2009.
- NARISAWA, K.; SHIMURA, M.; USUKI, F.; FUKUHARA, S.; HASHIBA, T. Effects of Pathogen Density, Soil Moisture, and Soil pH on Biological Control of Clubroot in Chinese Cabbage by *Heteroconium chaetospora*. **Plant disease**, v. 89, p. 285-290, 2005.
- NIWA, R.; KUMEI, T.; NOMURA, Y.; YOSHIDA, S.; OSAKI, M.; EZAWA, T. Increase in soil pH due to Ca-rich organic matter application causes suppression of the clubroot disease of crucifers. **Soil Biology & Biochemistry**, v. 39, p. 778-785, 2007.
- NOBLE, R. Risks and benefits of soil amendment with composts in relation to plant pathogens. **Australasian Plant Pathology**, v. 40, n. 2, p. 157–167, 2011.
- OLIVEIRA, R. M. **Produção das culturas de brócolis e da couve-flor com diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.
- Oliveira, F. C.; Geisenhoff, L. O.; Almeida, A. C. D. S. A.; de Lima Junior, J. A.; Niz, A. I. S.; Barbiero, D. F. Produtividade do brócolis de cabeça sob diferentes doses de adubação nitrogenada. **Agrarian**, v. 9, n. 34, p. 326-333, 2016.
- OLIVEIRA, F. A.; SANTOS, C. A.; COSTA, E. S. P.; GOULART, R. G. T.; ANDRADE, N. F.; DINIZ, C. S.; CARMO, M. G. F. Desempenho de híbridos de couve-flor nas condições da Baixada Fluminense - RJ. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 30–36, 2018.
- PENALBER, A. T. T. **Controle Alternativo da Hérnia das Crucíferas Causada por *Plasmodiophora brassicae* em Brócolis através de Compostos Orgânicos**. 2009. Tese (Doutorado em Fitopatologia) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2009.
- PEREIRA, L. F; SANTOS, C. A. S.; RIBEIRO, J. C.; CRUZ, L. C. C. D.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; CARMO, M. G. F. Produção de Brássicas na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. In: ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G. (org.). **Pesquisas Agrárias e Ambientais**. Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2022. V. 11, cap. 18, p. 221-234.
- REIS, A. **Hérnia das crucíferas**. Brasília, DF: Embrapa, 2009. 5p. (Comunicado técnico,72).
- ROGERI, D. A.; ERNANI, P. R.; MANTOVANI, A.; LOURENÇO, K. S. Composition of Poultry Litter in Southern Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, p. 1–7, 2016.
- RUARO, L.; LIMA NETO, V. C.; JÚNIOR, P. J. R. Influência do boro, de fontes de nitrogênio e do pH do solo no controle de hérnia das crucíferas causada por *Plasmodiophora brassicae*. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 4, p. 231–238, 2009.
- SAHARAN, G. S.; MEHTA, K. K.; MEENA, P. D. **Clubroot Disease of Crucifers: Biology, Ecology and Disease Management**. 1. ed. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2021. 757p.
- SALAMANDANE, A.; MUETANENE, B. A. ISMAEL, F. VINTUAR, P. Application of chicken manure and organic compost to produce onion (*Allium cepa* L.) and turnip (*Brassica rapa* L.) in greenhouse. **European Journal of Agriculture and Food Sciences**, v. 4, n. 5, p. 1-6, 2022.
- SANCHUKI, C. E.; SOCCOL, C. R.; CARVALHO, J. C.; SOCCOL, V. T.; NASCIMENTO, C.; WOICIECHOWSKI, A. L. Evaluation of Poultry Litter Traditional Composting Process. **Brazillian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 5, p. 1053-1058, 2011.
- SANTOS, D. H. Organominerais reduzem a salinização. **Revista Campo e Negócios HF**, fev. 2015.

SANTOS, C. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, E. S. P.; DINIZ, C. S.; CARMO, M. G. F. Liming and biofungicide for the control of clubroot in cauliflower. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, p. 303-311, 2017.

SANTOS, C. A.; DINIZ, C. S.; LIMA, L. O.; OLIVEIRA, L. S. S.; SOBRINHO, N. M. B. A.; CARMO, M. G. F. Avaliação preliminar do uso de torta de mamona no manejo da hérnia das crucíferas em couve-flor. **Colloquium Agrariae**, v. 4, n. 3, p. 31-38, 2018.

SANTOS, C. A. **Produção de brássicas na Região Serrana do Rio de Janeiro: Relação entre atributos de solo, práticas de manejo, hérnia das crucíferas e contaminação por metais**. 2020. 104p. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2020.

SANTOS, C. A.; CARMO, M. G. F.; BHERING, A. S.; COSTA, E. S. P.; SOBRINHO, N. M. B. A. Use of limestone and agricultural gypsum in cauliflower crop management and clubroot control in mountain farming. **Acta Scientiarum**, v. 42, 2020a.

SANTOS, C. A.; RIBEIRO, J. C., CARMO, M. G. F. Cresce o consumo de brócolis. **Revista Campo e Negócios HF**, abr. 2020b.

SANTOS, A. R. M.; KANO, C.; CHAVES, F. C. M.; CUNHA, A. L. B.; GENTIL, D. F. O.; JÚNIOR, A. B. C. Inflorescence production of broccoli cultivars in the hot and humid climate of central amazonia. **Revista Caatinga**, v. 33, n. 1, p. 54-61, 2020c.

SANTOS, C. A.; CARMO, M. G. F. Brássicas: manejo de doenças é urgente. **Revista Campo e Negócios HF**, p. 42-43, jan. 2020.

SANTOS, C. A.; SOBRINHO, N. M. B. A.; GONÇALVEZ, R. G. M.; COSTA, T. G. A.; CARMO, M. G. F. Toxic Metals in Broccoli by Combined Use of Acidity Correctives and Poultry Litter Under Mountain Tropical Conditions. **Archives of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 80, p. 507–518, 2021a.

SANTOS, C. A.; RIBEIRO, J. C., M. G. F. Brócolis: ganha a mesa dos brasileiros. **Revista Campo e Negócios HF**, 2021b.

SANTOS, C. A.; ABBOUD, A. C. S.; CARMO, M.G. F. Biofumigation with species of the Brassicaceae family: a review. **Ciência Rural**, v. 51, n. 1, 2021c.

SANTOS, C. A.; AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; CARMO, M. G. F. Recomendações de manejo visando o controle da hérnia das crucíferas. **Informe Técnico**, v. 1, n. 2, p. 1-20, 2021d.

SANTOS, C. A.; CRUZ, L. C. C. D., CARMO, M. G. F. Genética garante brócolis mais resistente. **Revista Campo e Negócios HF**, set. 2022a.

SANTOS, C. A.; SOBRINHO, N. M. B. A.; LIMA, E. S. B.; CARMO, M. G. F. Severity of clubroot in kale related to management practices and soil attributes. **Ciência Rural**, v. 52, n. 8, p. 1–12, 2022b.

SIQUEIRA, A. P. P.; SIQUEIRA, M. F. P. **Bokashi: Adubo Orgânico Fermentado**. Niterói, RJ: Programa Rio Rural, 2013. 16 p. (Manual Técnico 40).

SOUZA, C. C. B.; SOBRINHO, N. M. B. A.; LIMA, E. S. A.; LIMA, J. O.; CARMO, M. G. F.; GARCÍA, A. C. Relation between changes in organic matter structure of poultry litter and heavy metals solubility during composting. **Journal of Environmental Management**, v. 247, p. 291-298, 2019.

STAUB, L.; SOUZA, T. V.; TON, A. P. S. Manejos para reutilização da cama aviária. **Scientific Electronic Archives**, v.10, n. 5, p. 163-176, 2017.

- TEIXEIRA, P. C; DONAGEMMA, G. K.; FONTANA, A.; TEIXEIRA, W. G. **Manual e métodos de análise de solo.** 3nd ed. Embrapa solos, Rio de Janeiro, RJ. 2017.
- TILSTON, E. L.; PITI, D.; GROENHOF, A. C. Composted recycled organic matter suppresses soil-borne diseases of field crops. **New Phytologist**, v. 154, p. 731-740, 2002.
- TRANI, P. E.; TERRA, M. M.; TECCHIO, M. A.; TEIXEIRA, L. A. J.; HANASIRO, J. **Adubação Orgânica de Hortaliças e Frutíferas.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 2013, 16 p.
- TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; BLAT, S. F.; PRELA-PANTANO, A.; TEIXEIRA, É. P.; ARAÚJO, H. S.; FELTRAN, J. C.; PASSOS, F. A.; FIGUEIREDO, G. J. B.; NOVO, M. C. de S. S. **Couve de folha: do plantio à pós-colheita.** Campinas: Instituto Agronômico, 2015. 36 p. (Série Tecnologia Apta. Boletim Técnico IAC, 214).
- VARGAS, V. M. **Uso de abono orgánico, microorganismos de montaña (MM) y fertibiol para el control biológico de la hernia de las crucíferas (*Plasmodiophora brassicae wor.*) em el cultivo de mostaza china.** 2018. Tese – Universidad de Costa Rica, 2018.
- VIANA, J. S.; BORDA, C. A. R.; PALARETTI, L. F. Application of bokashi organic fertilizer in production of lettuce (*Lactuca sativa*). **Horticulture International Journal**, v. 4, n. 5, p. 200-201, 2020.
- VIDAL, M. C. **Métodos tradicionais de controle da hernia das crucíferas.** Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2012. 20p. (Documentos 135).
- WEBSTER, M. A.; DIXON, G. R. Calcium, pH and inoculum concentration influencing colonization by *Plasmodiophora brassicae*. **Mycological Research**, v. 95, n. 1, p. 64–73, 1991.

7 ANEXO

Anexo A. Análise de variância de dados de severidade da hérnia das crucíferas (SEV); massa fresca da raiz sadia (MFRS), de galhas (MFH) e da porcentagem de massa fresca de galhas (PMFH); volume de raiz sadia (VRS), de galhas (VH) e porcentagem de volume radicular com galhas (PVH); massa seca total da raiz (MSRT); número de folhas (NF); altura da planta (ALT); massa fresca das folhas (MFF) e do caule (MFCA); massa seca das folhas (MSF), do caule (MSCA) e da parte aérea (MSPA) em plantas de brócolis em plantas de brócolis (cv. Avenger) em função de diferentes doses de cama de aviário e da inoculação com esporos resistentes de *Plasmodiophora brassicae*. Ensaio em casa de vegetação. Seropédica, UFRRJ, 2021.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio ¹							
		SEV	MFRS	MFH	PMFH	VRS	VH	PVH	MSRT
Inoculação (I)	1	550,64*	*	*	696,98*	*	*	536,77*	5,96*
Dose (D)	5	1,11 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,14 ^{ns}
I x D	2	1,11 ^{ns}	0,47*	0,22 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,85 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Bloco	3	0,27 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,08 ^{ns}	1,78 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Resíduo	33	0,65	0,17	0,24	0,64	0,18	0,25	0,63	0,09
CV(%)		18,35	16,16	31,75	21,03	17,07	32,41	18,26	25,97

Fonte de variação	GL	Quadrado médio						
		NF	ALT	MFF	MFCA	MSF	MSCA	MSPA
Inoculação (I)	1	760,02*	869,82*	77870,9*	8377,25*	88,61*	314,88*	5703,75*
Dose (D)	5	2,90 ^{ns}	20,94*	367,78*	76,81*	1,82*	5,05*	170,61*
I x D	2	1,94 ^{ns}	20,18*	175,23 ^{ns}	60,43*	1,11*	4,03*	141,37*
Bloco	3	11,88*	3,49 ^{ns}	570,07*	32,64*	0,29 ^{ns}	0,76 ^{ns}	24,84 ^{ns}
Resíduo	33	1,2	3,2	97,8	9,3	0,2	0,46	21,36
CV (%)		14,46	13,93	21,8	18,74	15,13	19,43	34,6

^{ns}-não significativo; * significativo a 5%; ¹-dados transformados por $\sqrt{x+1}$.

Anexo B. Análise de variância para efeito de doses de inóculo de *Plasmodiophora brassicae* (esporos mL⁻¹) sobre a severidade e incidência da hérnia das crucíferas e sobre o volume de raiz sadia e massa seca total de plantas de brócolis (cv. Avenger). Seropédica, UFRRJ, 2022.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio			
		Severidade	Incidência	Volume de raiz sadia	Massa seca total da planta
Dose	4	7373,35*	5100,30*	5,38*	18,14*
Bloco	3	135,38 ^{ns}	199,08 ^{ns}	0,02 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Resíduo	12	106,76	276,28	0,17	1,07
CV(%)		19,25	22,53	27,75	19,00

*Significativo a 5% de probabilidade; ns-não significativo.

Anexo C. Análise de variância para severidade da hérnia das crucíferas (SEV); massa fresca da raiz sadia (MFRS) e porcentagem de hérnias com base na massa fresca (MFH); volume de raiz sadia (VRS) e porcentagem de hérnias com base no volume (PVRH); massa seca total da raiz (MSRT); número de folhas (NF); massa fresca da folha (MFF) e caule (MFC); diâmetro longitudinal da inflorescência (DLI); massa fresca da inflorescência (MFI); massa seca da folha (MSF), caule (MSC), inflorescência (MSI) e da parte aérea (MSPa) em plantas de brócolis (cv. Coliseu) em função da inoculação com esporos de *Plasmodiophora brassicae* e uso de diferentes manejos de aplicação de cama de aviário (Map) em solo sem calagem. Ensaio em casa de vegetação no Setor de Horticultura. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio ¹						
		SEV	MFRS	PMFH	VRS	PVRH	MSRT	
Inoculação	1	87381,33*	316,85*	88925,50*	367,22*	791,50*		2,90*
Map	3	1033,83*	0,45 _{ns}	1381,70*	1,02 _{ns}	7,45*		10,97*
Inoc x Map	3	1034,00*	38,63*	1381,67*	42,60*	7,45*		3,84*
Bloco	5	166,33 _{ns}	0,86 _{ns}	157,61 _{ns}	0,64 _{ns}	1,29 _{ns}		1,21 _{ns}
Resíduo	35	149,33	1,58	138,17	1,94	1,29		0,59
CV (%)		28,64	22,14	27,31	24,59	22,41		19,91
Fonte de variação	GL	Quadrado médio ¹						
		NF	MFF	MFC	DLI	MFI	MSF	MSC
Inoculação	1	111,32*	303690,08*	26838,02*	6,04*	374,54*	2133,20*	204,48*
Map	3	11,24 _{ns}	33744,47*	1064,41 _{ns}	0,55 _{ns}	26,13*	3030,78*	1,80 _{ns}
Inoc x Map	3	7,58 _{ns}	57682,33*	5468,67*	1,18*	31,55*	675,83*	28,13*
Bloco	5	2,42 _{ns}	549,70 _{ns}	268,44 _{ns}	0,07 _{ns}	2,82 _{ns}	22,80 _{ns}	1,91 _{ns}
Resíduo	35	7,18	10667,33	620,82	0,30	8,54	70,50	5,63
CV (%)		16,39	27,70	25,31	17,23	29,50	25,33	27,43
								22,6
								21,31

^{ns}-não significativo; * significativo a 5%; ¹-dados transformados por $\sqrt{x+1}$.

Anexo D. Análise de variância para severidade da hérnia das crucíferas (SEV); massa fresca da raiz sadia (MFRS) e porcentagem de hérnias com base na massa fresca (MFH); volume de raiz sadia (VRS) e porcentagem de hérnias com base no volume (PVRH); massa seca total da raiz (MSRT); número de folhas (NF); massa fresca da folha (MFF) e caule (MFC); diâmetro longitudinal da inflorescência (DLI); massa fresca da inflorescência (MFI); massa seca da folha (MSF), caule (MSC), inflorescência (MSI) e da parte aérea (MSPa) em plantas de brócolis (cv. Coliseu) em função da inoculação com esporos de *Plasmodiophora brassicae* e uso de diferentes manejos de aplicação de cama de aviário (Map) em solo com calagem. Ensaio em casa de vegetação do Departamento de Solos. Seropédica, UFRRJ, 2022.

Fonte de variação	GL	Quadrado médio ¹						
		SEV	MFRS	PMFH	VRS	PVRH	MSRT	
Inoculação	1	72485,28*		190,40*	38*	148,92*	73848,04*	10,09*
Map	3	0,28 _{ns}		0,37 _{ns}	5,99 _{ns}	1,40 _{ns}	18,08 _{ns}	0,40 _{ns}
Inoc x Map	3	0,28 _{ns}		1,90 _{ns}	5,99 _{ns}	2,34 _{ns}	18,08 _{ns}	0,02 _{ns}
Bloco	3	0,28 _{ns}		0,96 _{ns}	3,26 _{ns}	1,01 _{ns}	13,89 _{ns}	0,32 _{ns}
Resíduo	21	0,28		1,85	3,25	1,83	14,38	0,46
CV (%)		1,11		28,08	3,72	28,40	7,89	17,79
Fonte de variação	GL	Quadrado médio ¹						
		NF	MFF	MFC	DLI	MFI	MSF	MSC
Inoculação	1	66,12*	79,26*	15753,12*	47,53*	90,51*	1289,30*	4,17*
Map	3	9,41*	51,07*	2227,08 _{ns}	34,88*	22,61 _{ns}	308,12*	0,39 _{ns}
Inoc x Map	3	3,20 _{ns}	6,48 _{ns}	588,54 _{ns}	4,42 _{ns}	5,68 _{ns}	68,68 _{ns}	0,15 _{ns}
Bloco	3	1,25 _{ns}	8,36 _{ns}	975,00 _{ns}	9,59 _{ns}	0,85 _{ns}	56,50 _{ns}	0,21 _{ns}
Resíduo	21	2,94	10,75	762,5	7,56	8,49	85,7	0,24
CV (%)		10,16	17,22	25,54	25,23	28,72	25,52	15,02
								22,91
								15,27

^{ns}-não significativo; * significativo a 5%; ¹-dados transformados por $\sqrt{x+1}$.