



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

RAFAELA BUENO LORETO

**CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E NUTRIÇÃO
MINERAL NA INTENSIDADE DE INFECÇÃO DE
Aphelenchoides besseyi NA SOJA**

Londrina
2022

RAFAELA BUENO LORETO

**CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E NUTRIÇÃO
MINERAL NA INTENSIDADE DE INFECÇÃO DE
Aphelenchoides besseyi NA SOJA**

Dissertação apresentada ao
Departamento de Pós-Graduação em
Agronomia da Universidade Estadual de
Londrina, para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia.

Orientador: Dr. Adônis Moreira
Coorientadora: Dra. Luciany Favoreto

Londrina
2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Loreto, Rafaela Bueno .

CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E NUTRIÇÃO MINERAL NA INTENSIDADE DE INFECÇÃO DE *Aphelenchoides besseyi* NA SOJA / Rafaela Bueno Loreto. - Londrina, 2022.
54 f. : il.

Orientador: Adonis Moreira.

Coorientador: Luciany Favoreto.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2022.
Inclui bibliografia.

1. Nematóide da haste verde - Tese. 2. *Glycine max* - Tese. 3. Nutrição mineral de plantas - Tese. I. Moreira, Adonis . II. Favoreto, Luciany. III. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDU 63

RAFAELA BUENO LORETO

**CORREÇÃO DA ACIDEZ DO SOLO E NUTRIÇÃO
MINERAL NA INTENSIDADE DE INFECÇÃO DE
Aphelenchoides besseyi NA SOJA**

Dissertação apresentada ao
Departamento de Pós-Graduação em
Agronomia da Universidade Estadual de
Londrina, para a obtenção do título de
Mestre em Agronomia.

BANCA EXIMINADORA

Orientador: Dr. Adonis Moreira
Universidade Estadual de Londrina

Dra. Andressa Cristina Zamboni Machado
IDR – EMATER

Dra. Juliana Aparecida de Souza
Universidade Estadual de Londrina

Londrina, 24 de fevereiro de 2022.

LORETO, Rafaela Bueno. **Correção da acidez do solo e nutrição mineral na intensidade de infecção de *Aphelenchoides besseyi* na soja.** 52 p. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2022.

RESUMO

A nutrição mineral, quando em níveis equilibrados, contribui para a defesa das plantas ao ataque de pragas e doenças. Os nematoides podem ser atraídos ou repelidos pelo gradiente de concentração formado por exsudatos radiculares, que fornecem um sinal de reconhecimento. No entanto, não está claro se os nutrientes minerais desempenham um papel importante neste processo. Considerando-se que os nematoides respondam de forma diferenciada ao manejo de nutrição, esse estudo tem como hipótese que o desequilíbrio do pH do solo e nutricional da soja possa ser fator importante na incidência da doença causada por *A. besseyi*. Os objetivos destes trabalhos foram avaliar a influência de diferentes omissões de nutrientes e de doses de calcário sobre a densidade populacional de *A. besseyi*, o desenvolvimento da planta e a incidência da haste verde na soja. Para tal, foram realizados dois experimentos em casa de vegetação. O primeiro, realizado em delineamento inteiramente casualizado (DIC), fatorial 2×11 , cujos níveis do primeiro fator consistiram em plantas inoculadas e não inoculadas e os níveis do segundo fator, em plantas com omissão completa ou individual dos nutrientes, com seis repetições. Observou-se que o nematoide influenciou os componentes de crescimento da soja e os tratamentos de omissão de N, P, K e Cu foram aqueles em que a severidade dos sintomas da doença da haste verde foi maior. O elemento Cu demonstrou ter associação com sintomas mais severos nas plantas. Embora a condição nutricional da soja não influencie a infecção dos nematoides, a aplicação dos nutrientes, de forma equilibrada, reduziu a severidade dos sintomas da doença. O segundo experimento foi realizado em DIC em esquema fatorial 2×6 , sendo os tratamentos divididos em inoculado e não inoculado e, dentro desses, foram aplicadas as seis doses de calcário dolomítico (0, 2, 4, 6, 8 e 10 t ha^{-1}), com cinco repetições. Com o aumento das doses de calcário, a densidade populacional de *A. besseyi* diminuiu na massa fresca das raízes e massa fresca total.

Palavras-chave: Nematoide da haste verde. *Glycine max*. Densidade populacional. Nutrição mineral de plantas.

LORETO, Rafaela Bueno. **Correction of soil acidity and mineral nutrition in the intensity of infection of *Aphelenchoides besseyi* in soybean**. 52 p. Dissertation (Master in Agronomy) – Londrina State University, Londrina. 2022.

ABSTRACT

Mineral nutrition, when in balanced levels, contributes to the defense of plants against the attack of pests and diseases. Nematodes can be attracted or repelled by the concentration gradient formed by root exudates, which provide a recognition signal. However, it is unclear whether mineral nutrients play an important role in this process. Considering that nematodes respond differently to nutrition management, this study hypothesizes that soil pH and soybean nutritional imbalance may be an important factor in the incidence of the disease caused by *A. besseyi*. The objectives of these studies were to evaluate the influence of different nutrient omissions and limestone doses on the population density of *A. besseyi*, plant development and the incidence of green stem in soybean. To this end, two experiments were carried out in a greenhouse. The first, carried out in a completely randomized design (DIC), 2 × 11 factorial, whose levels of the first factor consisted of inoculated and uninoculated plants and the levels of the second factor, in plants with complete or individual omission of nutrients, with six replications. It was observed that the nematode influenced the growth components of soybean and the treatments of N, P, K and Cu omission were those in which the severity of symptoms of green stem disease was greater. The Cu element has been shown to be associated with more severe symptoms in plants. Although the nutritional condition of soybeans did not influence nematode infection, the application of nutrients, in a balanced way, reduced the severity of disease symptoms. The second experiment was carried out in DIC in a 2 × 6 factorial scheme, with treatments divided into inoculated and non-inoculated and, within these, the six doses of dolomitic limestone were applied (0, 2, 4, 6, 8 and 10 t ha⁻¹), with five repetitions. With increasing lime rates, the population density of *A. besseyi* decreased in root fresh mass and total fresh mass.

Key Words: Green stem nematode. *Glycine max*. Population density. Plant mineral nutrition.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Visão geral de plantas não inoculadas.....	28
Figure 3.2 - Visão geral de plantas inoculadas.....	29
Figure 3.3 - Sintomas da doença causada pelo nematoide: superbrotamento (A), engrossamento de nós e necrose dos racemos florais (B), folhas afiladas, embolhamento no limbo foliar (C), manchas angulares (D).	33

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Componentes de crescimento [altura de planta (AP), massa fresca da parte aérea (MFPA)] da soja em resposta à presença (+) e ausência (-) e número de indivíduos de <i>Aphelenchoides besseyi</i>	31
Tabela 3.2 - Comprimento da raiz (CR) e massa fresca da raiz (MFR) da soja em resposta à presença (+) e ausência (-) de <i>Aphelenchoides besseyi</i>	33
Tabela 3.3 - Índice SPAD e índice da área foliar em resposta ao estado nutricional da soja e à presença (+) e ausência (-) de <i>Aphelenchoides besseyi</i>	34
Tabela 3.4 - Volume de raízes e massa seca da parte aérea de plantas sem inoculação.	35
Tabela 3.5 - Média de nós, flores, formação de vagens e vagens das plantas sem a inoculação de <i>Aphelenchoides besseyi</i>	36
Tabela 3.6 - Número total de racemos florais e porcentagem de racemos florais necrosados em resposta à presença de <i>Aphelenchoides besseyi</i>	36
Tabela 3.7 - Teor de nutrientes na matéria seca da parte aérea da soja no estágio reprodutivo R2-R3, em virtude dos tratamentos de adubação na presença e ausência de nematoides.	38
Tabela 4.1 - Componentes de crescimento da soja em resposta à presença (+) e ausência (-) de <i>Aphelenchoides besseyi</i> em crescentes doses de calcário.....	41
Tabela 4.2 - Densidade populacional de <i>Aphelenchoides besseyi</i> na massa fresca da parte aérea das plantas (MFPA), massa fresca de raízes (MFR), massa fresca total (MFT) e no substrato (3:1, areia e solo) em resposta às doses de calcário.....	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1 A CULTURA DA SOJA	12
2.1.1 Fenologia da Soja e Exigências Nutricionais	13
2.2 FITONEMATOIDES	15
2.2.1 Nematoides na Cultura da Soja no Brasil.....	16
2.2.2 <i>Aphelenchoides besseyi</i> e Hospedabilidade em Soja	17
2.3 NUTRIÇÃO MINERAL E CONTROLE DE DOENÇAS	19
2.3.1 Calagem e Controle de Fitonematoides	22
3. ARTIGO A: DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM PLANTAS DE SOJA SOBRE A SEVERIDADE DE DANOS CAUSADOS POR <i>APHELENCHOIDES BESSEYI</i>	24
3.1 RESUMO	24
3.2 ABSTRACT	25
3.3 INTRODUÇÃO	25
3.4 MATERIAL E MÉTODOS	27
3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
3.6 CONCLUSÕES	39
4. ARTIGO B: AVALIAÇÃO DA DENSIDADE POPULACIONAL DE <i>APHELENCHOIDES BESSEYI</i> EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SOJA.....	40
4.1 RESUMO	40
1.1 ABSTRACT	40
4.3 INTRODUÇÃO	41
4.4 MATERIAL E MÉTODOS	42
4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.6 CONCLUSÕES	45
5. REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é a principal *commodity* agrícola comercializada e exportada no Brasil, sendo o país o maior produtor e exportador em nível mundial. Esta leguminosa possui diversas formas de utilização, tanto na alimentação humana quanto na nutrição animal, além de gerar medicamentos e biodiesel.

As altas produtividades no país são explicadas pela utilização de práticas agrícolas adequadas e a introdução de novas tecnologias empregadas pelos produtores, como a utilização de sementes de alta qualidade, manejo da fertilidade do solo e manejo de pragas e doenças.

O manejo dos nutrientes pode ser realizado diretamente por meio da aplicação adequada de fertilizantes, ou, indiretamente, pela utilização de diferentes práticas culturais, como a calagem, para o ajuste do pH.

A nutrição mineral, quando em níveis equilibrados, contribui para a defesa das plantas em relação ao ataque de pragas e doenças. A deficiência, excesso ou desequilíbrio nas combinações de elementos nutricionais pode influenciar a reação das plantas à infecção por patógenos, de forma a aumentar o nível de defesa ou favorecer a ocorrência de doenças.

No solo, os nematoides podem ser atraídos ou repelidos pelo gradiente de concentração formado por exsudatos radiculares, que fornecem um sinal de reconhecimento. No entanto, não está claro se os nutrientes minerais desempenham um papel importante neste processo.

Na literatura, em estudos realizados com a aplicação de calcário e espécies de nematoides, como por exemplo *Pratylenchus brachyurus*, notou-se uma relação de redução na densidade da espécie, entretanto, para *Heterodera glycines*, a relação foi contrária.

Aphelenchoides besseyi, identificado como agente etiológico da doença que causa retenção foliar e haste verde em diversas culturas, tem ganhado grande importância dentre os nematoides que ocasionam os maiores danos à cultura da soja. *Aphelenchoides besseyi* ocorre com maior severidade em lavouras da região do cerrado, podendo resultar em perdas de até 100% do rendimento da cultura hospedeira, em áreas altamente infestadas.

Os solos do 'Cerrado' apresentam baixa fertilidade natural, com desequilíbrios nutricionais, geralmente causados por formulações inadequadas de nutrição vegetal, e por calagem excessiva na superfície. Estudos sobre a relação entre a nutrição mineral das plantas e a infecção de nematoides são poucos e, para *A. besseyi*, inexistentes.

Considerando-se que os nematoides respondam de forma diferenciada ao manejo de nutrição, esse estudo tem como hipótese que o desequilíbrio do pH do solo e nutricional da soja possa ser fator importante na incidência da doença causada por *A. besseyi*.

Diante do exposto, esse estudo teve como objetivos avaliar a influência de diferentes omissões de nutrientes e de doses de calcário sobre a densidade populacional de *A. besseyi*, o desenvolvimento da planta e a incidência da haste verde na soja.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A CULTURA DA SOJA

A soja é uma planta pertencente à família Fabacea, leguminosa, denominada cientificamente *Glycine max* (L) Merrill. É uma das culturas mais cultivadas em nível mundial. Possui diversas formas de utilização, tanto na alimentação humana e animal, como na fabricação de inúmeros subprodutos pela agroindústria, utilizando seus grãos, além de ser uma fonte alternativa de biocombustível (COELHO et al., 2011).

Tem sua origem no continente Asiático, na região da antiga Manchúria, atual China. Nos séculos XV e XVI, a soja chegou ao Ocidente e na América e foi cultivada nos Estados Unidos como planta não só como produtora de grãos, mas também como forrageira. A cultura chegou ao Brasil em 1883, trazida dos EUA, sendo cultivada primeiramente na Bahia e se espalhou para São Paulo e Rio Grande do Sul, com maior desenvolvimento no Centro-Oeste brasileiro (PAIVA et al., 2006).

É a principal cultura agrícola das exportações brasileiras, sendo o Brasil o maior produtor do mundo, ocupando uma área cultivada de 38,5 milhões de hectares (CONAB, 2021). Na safra 2020-2021, houve um acréscimo de 4,3% da área plantada de soja em comparação à safra anterior e a produção foi recorde de 136 milhões de toneladas, representando incremento de 8,9% em relação ao exercício passado (CONAB, 2021).

Em análise regional, o plantio da soja aumentou na safra 2020-2021 em todas as regiões do país, destacando-se a região norte-nordeste, a qual teve um incremento de 7,5% em relação à safra anterior e a produção de 8,5% sobre o exercício passado. As maiores áreas plantadas da cultura e com maiores produções se concentram na região centro-oeste, dando destaque ao estado do Mato Grosso, seguida da região sul, a qual, nesta safra 20-21, apresentará produção recorde, atingindo 43 mil toneladas, incremento de 21,9% em relação à safra passada. Na região sudeste o cultivo apresentou recordes históricos de área, produtividade e produção (CONAB, 2021).

A adoção de novas tecnologias pelos agricultores, entre elas a utilização de sementes com alta qualidade, manejo da fertilidade do solo, material

genético, transgenia e o manejo de pragas e doenças contribuem para aumentar a produção de soja no país (HIRAKURI; LAZZAROTTO, 2014). Freitas (2011) destaca que o Brasil permite à cultura expressar a sua potencialidade nas diversas condições edafoclimáticas do país, devido aos avanços científicos em tecnologias para manejo de solos, com técnicas de correção da acidez, o processo da inoculação das sementes para fixação biológica do nitrogênio (FBN) e a adubação balanceada, com macronutrientes (P, K, Ca, Mg e S) e micronutrientes (B, Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni e Zn). Tal afirmação pode ser observada todos os anos com safras cada vez maiores e aumento na competitividade do produto brasileiro, concomitantemente pela introdução de novas tecnologias e empenho da pesquisa.

2.1.1 Fenologia da Soja e Exigências Nutricionais

O conhecimento da fenologia da soja é uma importante ferramenta que auxilia na escolha do manejo a ser adotado em determinado momento da cultura, uma vez que possibilita identificar, através da observação de características morfológicas da planta, o instante fisiológico no qual se encontram relacionadas as exigências do vegetal que, uma vez sanadas, permitirão um bom desenvolvimento e, com isso, melhores rendimentos da cultura (CÂMARA, 2006).

A caracterização dos estádios de desenvolvimento da planta da soja é imprescindível para proporcionar melhor comunicação entre os diversos públicos que trabalham com a cultura, pois ocorre padronização de seu desenvolvimento. A metodologia de descrição dos estádios de desenvolvimento proposta por Fehr e Caviness (1977) é a mais utilizada no mundo inteiro (FARIAS et al., 2007).

O sistema de classificação fenológico proposto por Fehr e Caviness (1977) divide o ciclo da cultura em vários estádios vegetativos e reprodutivos. O período vegetativo é representado pela letra V, que vem acompanhada de índices numéricos para identificação de estádios específicos (quantidade de nós e folhas unifoliadas completamente desenvolvidas), restringindo-se aos estádios VE (emergência) e VC (cotilédone). O nó cotiledonar não é considerado e os nós unifolares são considerados como um único nó. Uma folha é tida como completamente desenvolvida quando os bordos dos trifólios da folha seguinte não mais se encostam (FARIAS et al., 2007; FEHR; CAVINESS, 1977). O período reprodutivo inclui as fases de florescimento (R1 e R2), de formação da vagem (R3 e

R4), de formação do grão (R5 e R6) e de maturação do vegetal (R7 e R8).

Durante todos os estádios fenológicos, as plantas extraem nutrientes do solo, influenciando diretamente seu desenvolvimento. Os nutrientes que possuem funções na estrutura ou no metabolismo das plantas e, quando ausentes, desencadeiam desenvolvimento anormal, podendo impedir a planta de completar seu ciclo, são considerados essenciais no desenvolvimento (TAIZ et al., 2017)

Os elementos dividem-se em macro e micronutrientes de acordo com suas concentrações nos tecidos das plantas. São considerados macronutrientes o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), enquanto os micronutrientes são o cloro (Cl), cobalto (Co), ferro (Fe), boro (B), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni) e molibdênio (Mo). São considerados elementos benéficos o sódio (Na) e silício (Si). Hidrogênio (H), carbono (C) e oxigênio (O) são obtidos do solo, água e ar e são essenciais para determinados processos metabólicos das plantas (MALAVOLTA, 2006; TAIZ et al., 2017).

Entre os macronutrientes, N é o elemento mais extraído pela planta de soja, seguido de K, Ca, Mg, P e S. A falta de N pode causar amarelecimento e queda prematura das folhas, crescimento retardado e redução do número de vagens. Devido à elevada mobilidade desse nutriente, os sintomas se iniciam pelas folhas mais velhas. Falta de K pode levar à redução da fertilidade das vagens e florescimento limitado, com amarelecimento no ápice das folhas adultas. A escassez de Ca influencia o desenvolvimento de raízes e provoca vagens pequenas e sem grãos, as folhas tornam-se enroladas e pode haver o colapso dos pecíolos. No caso de falta de Mg, pode haver diminuição do tamanho da planta, redução do número de vagens e clorose internerval. Para a escassez de P, a planta demonstra diminuição das ramificações e apresenta clorose, seu sintoma de deficiência aparece nas folhas mais velhas, caracterizado pela coloração anormal em verde-escuro azulado ou bronzeada. No caso de escassez de S, vê-se pontas das folhas secas e com pontuações de necrose, com sintomas que podem ser semelhantes àqueles causados pela deficiência de N, porém diferindo-se por ocorrer nas folhas mais novas, devido à sua menor mobilidade nos tecidos; o sistema radicular e a nodulação podem ser reduzidos (MATHAN, 1995; MASCARENHAS, 2014).

Em relação aos micronutrientes, estes são absorvidos em pequenas quantidades como constituintes de enzimas ou atuam como seus ativadores (SEDIYAMA, 2016). As plantas de soja deficientes em Cu mostram menor síntese de

proteínas e diminuição na atividade fotossintética, uma vez que este nutriente é ativador de enzimas que participam do transporte eletrônico terminal da respiração e fotossíntese. Na escassez de Fe, há menor RNA e síntese de proteína. O Co é essencial para a fixação do N através de bactérias, pois participa na síntese de cobamida e da leghemoglobina, participando no processo semibiótico (MALAVOLTA 1980). Os nódulos com rizóbio necessitam de Co que pode sintetizar a vitamina B12, como a enzima cobamida. Portanto, deficiência de Co pode ocasionar deficiência de nitrogênio na soja, devido à baixa fixação simbiótica. O Mn atua no transporte de elétrons na fotossíntese, enquanto o B, na síntese de açúcares. O Zn atua na síntese do triptofano, portanto a ausência deste elemento diminui a síntese do AIA (ácido indolacético) e, por isso, as células ficam menores, sua deficiência diminui o nível de RNA, prejudicando a síntese de proteínas, através da RNAase que hidrolisa o RNA (SFREDO, 2008; MASCARENHAS et al., 2014).

2.2 FITONEMATOIDES

Os fitonematoides são organismos do Filo Nematoda (Nemata) e compreendem cerca de 4100 espécies (DECRAEMER; HUNT, 2006). Estes possuem estilete bucal, que serve tanto para a injeção de substâncias tóxicas quanto para a sucção de conteúdo celular das plantas (OLIVEIRA LIMA et al., 2015). São organismos filiformes de coloração translúcida e tamanho microscópico variado, de 0,3 a 3,0 milímetros, considerados seres aquáticos que sobrevivem no solo desde que haja o mínimo de umidade, causadores de problemas fitossanitários em todas as partes das plantas, prejudicando funções vitais como a absorção e transporte de água e nutrientes, gerando perdas expressivas nas mais diversas culturas (FERRAZ et al., 2010; DIAS-ARIEIRA et al., 2012).

São extremamente polípagos e possuem uma ampla gama de hospedeiros (FERRAZ et al., 2010). As interações nematoide-planta são influenciadas por diversos fatores ambientais, como temperatura, umidade e tipo de solo. Tanto a relevância dos danos causados na planta, quanto os sintomas apresentados, podem ser variados, dependendo da espécie do nematoide, do hospedeiro e das condições ambientais (FERRAZ et al., 2010). Temperaturas extremamente altas ou baixas podem ser prejudiciais no seu desenvolvimento (ROSSETTO; SANTIAGO, 2013).

O parasitismo de fitonematoides ocasiona limitações na absorção de água e sais minerais da solução do solo pelas raízes, pela presença do estilete bucal na cavidade oral (FREITAS; OLIVEIRA; FERRAZ, 2014), refletindo em diminuição do sistema radicular e parte aérea, folhas em ponto de murcha e/ou cloróticas e, conseqüentemente, redução na produtividade de grãos (DIAS et al., 2010). Pelos sintomas geralmente serem refletidos na parte aérea das plantas, são muitas vezes menosprezados e conferidos a outros fatores, como deficiência nutricional, manejo inadequado da cultura ou déficit hídrico (DIAS-ARIEIRA et al., 2010).

2.2.1 Nematoides na Cultura da Soja no Brasil

Os problemas fitossanitários estão entre os principais fatores que limitam a obtenção de altos rendimentos na produção da cultura, destacando-se os nematoides como patógenos responsáveis por prejuízos crescentes (ALMEIDA et al., 2005). A erradicação destes em áreas infestadas é extremamente difícil. Entre as estratégias de manejo integrado consideradas mais promissoras podem ser citadas a rotação ou sucessão de culturas com espécies não hospedeiras, a utilização de cultivares resistentes ou tolerantes e o tratamento químico e/ou biológico (ARAÚJO et al., 2012).

De acordo com Dias et al. (2010), encontra-se registrado na literatura cerca de 100 espécies de nematoides pertencentes a 50 gêneros distintos, associados à cultura da soja, em nível mundial. No Brasil as espécies mais frequentes e que ocasionam maiores danos à cultura são: *Pratylenchus brachyurus* (nematóide das lesões), *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* (nematóide das galhas), *Heterodera glycines* (nematóide de cisto) e *Rotylenchulus reniformis* (nematóide reniforme). As perdas de produtividade ocasionadas por estes fitoparasitas variam de acordo com o nível populacional presente na área, fertilidade e textura do solo e suscetibilidade do cultivar, podendo chegar próximo a 100% em alguns casos.

Há mais de dez anos, a ocorrência da síndrome da “Soja Louca” (Gilioli et al., 2007) surgiu no Brasil, cujos principais sintomas caracterizavam-se por um distúrbio das hastes com retenção foliar, o qual atingiu níveis epidêmicos, principalmente nas regiões quentes e chuvosas dos estados do Maranhão, Tocantins,

Pará e norte de Mato Grosso, causando perdas na produção de soja de até 100% em maiores infestações (MEYER et al., 2008; 2009).

Diversas investigações foram estabelecidas para identificar o agente causal dessa doença. Segundo Meyer (2017), estudos relacionados a vírus, deficiências nutricionais, reação a herbicidas e associação a ácaros foram inicialmente conduzidos e posteriormente descartados, sendo sugerida como uma possível causa o nematoide do gênero *Aphelenchoides*, baseado no trabalho sobre o *amachamiento* do feijão comum (*Phaseolus vulgaris*). No entanto, somente em 2017 estabeleceram a natureza do patógeno, que foi identificado como *Aphelenchoides besseyi* Christie, 1942 (MEYER et al., 2017). Atualmente, essa espécie é considerada de importância econômica para diversas culturas, além da soja. Em soja estima-se que já se tem a ocorrência do nematoide da haste verde no Brasil em cerca de 3,3 milhões de hectares (MEYER; FAVORETO et al., 2019).

2.2.2 *Aphelenchoides besseyi* e Hospedabilidade em Soja

O gênero *Aphelenchoides* possui mais de 200 espécies, a maioria micófaga, nutrindo-se exclusivamente de fungos (CHENG et al., 2013). Poucas espécies deste gênero são parasitas da parte aérea das plantas (HUNT, 1993; KOHL, 2011), com ampla gama de hospedeiros. *Aphelenchoides besseyi*, *A. fragariae*, *A. ritzemabosi* e *A. arachidis* desenvolveram a habilidade de parasitar plantas, alimentam-se, em geral, de seus órgãos aéreos, provocando danos e perdas nas culturas (FAVORETO et al., 2011).

O hospedeiro mais importante de *Aphelenchoides besseyi* é o arroz (*Oryza sativa*), cujo parasitismo ocasiona a doença chamada “ponta-branca” (HUNT 1993; BRIDGE et al. 2005; KEPENEKCI, 2013). Entretanto, este nematoide acomete também o morango (*Fragaria x ananassa*), gramíneas forrageiras e está associado a severos danos em plantas ornamentais. É citado, ainda, como agente causal do ‘black spot’ no feijoeiro na Costa Rica e, mais recentemente, foi reportado na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) no Brasil (CARES et al., 2008; FAVORETO et al., 2011; FAVORETO et al., 2018).

Aphelenchoides besseyi tem ganhado destaque no cenário agrícola brasileiro após ter sido identificado como o agente etiológico da doença na soja

conhecida inicialmente como “Soja Louca II” (MEYER et al., 2017). Recentemente foi nomeado como “nematóide da haste verde”, por também infestar outras culturas, uma vez que os principais sintomas se caracterizam por plantas que não senescem e por retenção foliar. Sua ocorrência é mais severa em regiões quentes e chuvosas nos estados do Mato Grosso, Pará, Amapá, Tocantins e Maranhão (MEYER et al., 2017).

Este nematóide se caracteriza como um parasita não obrigatório, sobrevivendo como micófago no solo, na ausência de plantas hospedeiras, e, em condições extremas de desidratação, pode entrar em anidrobiose e sobreviver no interior de restos vegetais ou em sementes por longos períodos (FORTUNER; WILLIAMS, 1975; BRIDGE et al., 2005; FAVORETO et al., 2011; JESUS; CARES, 2016). Quando infecta a planta, move-se internamente por seus tecidos desde a raiz, comportando-se como endoparasita, e pode se comportar como ectoparasita, ou seja, o nematóide se desloca externamente à planta por meio de um filme de água (FAVORETO; MEYER, 2019)

Na soja, *A. besseyi* causa anomalias como deformações e embolhamento nas folhas mais novas, afilamento e engrossamento de nervuras, abortamento de flores e vagens, haste verde e retenção foliar (MEYER et al., 2017). Esses sintomas podem começar nos estágios vegetativos V5-V6, porém são mais comuns a partir da floração até a época da colheita, quando as plantas doentes permanecem com os caules, pecíolos, folhas e vagens de tom verde. As plantas apresentam sintomas semelhantes a viroses, como distorções, formação de bolhas, amarração e espessamento das nervuras. As hastes permanecem verdes e às vezes são torcidas e estriadas, com nós aumentados. As vagens são distorcidas, espessadas, com necrose marrom avermelhada. Altos níveis de abortamento de flores são comuns, e, eventualmente, a proliferação de brotos pode ocorrer (MEYER et al. 2009).

De acordo com Meyer et al. (2010), o elevado índice de abortamento das vagens é mais intenso no terço superior das plantas infectadas e diminui gradativamente em direção à base. Além disso, na maioria das vezes, ocorre a formação de novas inflorescências e sintomas de superbrotamento, os quais interferem no processo de maturação das plantas, que se apresenta verde mesmo depois da dessecação com herbicidas. Ainda, conforme os mesmos autores, a coloração esverdeada das plantas já em final de ciclo, como nos estádios R7 e R8 (maturação plena da planta), apresenta-se totalmente distribuída na lavoura ou em

linhas de semeadura que, a campo, são fáceis de serem notadas quando comparadas com plantas não infectadas, que apresentam característica e cor típica de final de ciclo e senescência. Dessa forma, a presença de plantas verdes na área dificulta a colheita e causa o embuchamento das máquinas, afetando drasticamente a eficiência de colheita e a qualidade do produto.

Em períodos com elevada frequência de chuvas e temperaturas médias acima de 28°C, os nematoides migram do solo para a parte aérea das plantas de soja no início do desenvolvimento vegetativo (FAVORETO; MEYER, 2019). A reprodução de *A. besseyi* é sexuada e a duração do seu ciclo varia de 8 a 10 dias. Por ter capacidade de sobreviver em anidrobiose, a umidade tem influência sobre este patógeno, se tornando ativo apenas quando a umidade atinge valores superiores a 70%; este nível de umidade pode ser encontrado nas regiões de crescimento da parte aérea da planta (BEDENDO, 1997).

Segundo Meyer e Hirose (2012), até o momento não são conhecidas cultivares com resistência ou tolerância ao patógeno, sendo indicado o manejo de solo e da cultura. Dessa forma, é de extrema importância o monitoramento dos níveis populacionais do nematoide na área, a fim de diminuir os danos. Para tanto, uma das alternativas de manejo da praga é a dessecação das áreas, antecipada à semeadura de soja e algodão, além do controle de plantas invasoras hospedeiras de *A. besseyi*.

Para o controle desse nematoide, Meyer e Favoreto (2019) observaram a necessidade da integração de medidas, sendo que a utilização de controle biológico e químico pode ser uma técnica de redução da população. Em estudos realizados por esses mesmos autores, observou-se que a utilização de calagem pareceu não ter efeito na redução de *A. besseyi* e os autores ressaltaram que uma boa medida de controle são as escolhas corretas de sucessão de culturas no sistema, de forma a não aumentar a população do nematoide presente na área, podendo assim diminuir a incidência da doença.

2.3 NUTRIÇÃO MINERAL E CONTROLE DE DOENÇAS

A nutrição mineral de plantas pode interferir de forma direta ou indireta ao ataque de patógenos, reduzindo ou aumentando a severidade de doença. Além disso, pode influenciar o ambiente, favorecendo ou não a presença dos patógenos ou ainda induzir resistência ou tolerância na planta hospedeira (ZAMBOLIM; COSTA;

VALE, 2001), alterando sua composição química e morfológica e criar barreiras físicas (CARVALHO et al., 2013). Os nutrientes podem afetar, principalmente, dois mecanismos de resistência primária das plantas às doenças, na formação de barreiras mecânicas (espessura das paredes das células) ou na síntese de compostos de defesa (compostos secundários, antioxidantes, fitoalexinas e flavonoides) (ZAMBOLIM; VENTURA, 2012).

As doenças de plantas são influenciadas por fatores ambientais, incluindo as deficiências e/ou a toxicidade de nutrientes essenciais. Os efeitos dos nutrientes sobre a doença podem ser atribuídos aos efeitos sobre o crescimento das plantas, que podem influenciar o microclima na cultura e, conseqüentemente, afetarem a infecção do patógeno; aos efeitos sobre as paredes celulares e os tecidos, bem como sobre a composição bioquímica do hospedeiro, que poderá possibilitar à planta escapar da infecção do patógeno em sua fase mais suscetível; e aos efeitos sobre o patógeno, pelas alterações no ambiente do solo (ZAMBOLIM; VENTURA, 2012).

O N em níveis elevados pode resultar na suscetibilidade da planta a patógenos biotróficos ou ainda influenciar na resistência das plantas (BORGES; SANDALIO, 2015). O excesso leva à redução da síntese de fitoalexinas, bem como promove exsudação foliar e radicular de aminoácidos e açúcares, reduzindo o teor de lignina nos tecidos vegetais (ZAMBOLIM, 1998), incluindo os radiculares, facilitando dessa forma a penetração do nematoide. Entretanto, sabe-se também que a aplicação de N na forma de amônio (NH_4) no solo é eficiente no controle de nematoides (RODRÍGUEZ-KÁBANA, 1986). Além do N, o efeito do P no controle de doenças relacionadas a nematoides também pode ter respostas variadas em função da fonte utilizada. A aplicação do P na forma de superfosfato triplo foi mais eficiente, comparado ao superfosfato simples, no controle de *P. scribneri* em plantas de milho (*Zea mays*), soja e algodão (COLLINS; RODRÍGUES-KABANA, 1971). Esse nutriente está ligado à síntese de proteínas, à atividade celular e à produção de polifenóis, peroxidase e de NH_3^+ (WANG; BERGESON, 1974).

O K aumenta a espessura da parede celular em células da epiderme, promove rigidez da estrutura dos tecidos e regula o funcionamento dos estômatos, resultando em menor incidência de doenças, devido ao aumento da resistência à penetração de patógenos, entre esses os nematoides (MARSCHNER; CAKMAK, 1986). A presença de K também está relacionada com o acúmulo de fitoalexinas e de

fenóis, que circundam os sítios de alimentação de patógenos, causando a ineficiência dos mesmos (HUBER; ARNY, 1985). O Ca influi na estabilidade das membranas celulares e no reconhecimento de patógenos invasores das mesmas (MARSCHNER, 2012), apresentando papel importante na ativação dos mecanismos de defesa da planta. Tais funcionalidades desse nutriente podem auxiliar a planta na defesa contra os nematoides, visto que, ao penetrarem suas raízes, estes podem ser reconhecidos e surpreendidos pelos mecanismos de defesa.

O Mg é ativador de grande quantidade de enzimas e está presente em várias etapas da fotossíntese e no metabolismo energético (ZANÃO JÚNIOR, 2012). O papel do Mg em estimular ou minimizar o desenvolvimento de doenças de planta não tem sido tão extensivamente relatado quanto o de outros macronutrientes. Entretanto, há alguns relatos de que, na presença de Mg, há aumento da severidade de doenças tais como mal-do-pé em trigo, mancha-bacteriana em tomate e pimentão e *murcha-de-fusarium* em tomate (ZAMBOLIM; VENTURA, 2012). O S é um componente estrutural das membranas celulares, pois compõe os sulfolípidos (ZANÃO JÚNIOR, 2012), sendo muito utilizado para controle de fungos, por atuar em diversos sítios bioquímicos, inibindo a respiração de fungos pela inibição da formação do ATP na cadeia de transporte de elétrons (ZAMBOLIM; VENTURA; 2012).

Entre os micronutrientes, o B possui funções na divisão celular, formação de parede celular, síntese de ácidos nucleicos (DNA e RNA) e de fitormônios, no metabolismo e transporte dos carboidratos e transporte de açúcares através das membranas (SEDIYAMA, 2016). Cu tem importância como ativador de enzimas e na fotossíntese, tendendo a se acumular no cloroplasto e fazendo parte da plastocianina, onde atua no transporte de elétrons (MENGEL; KIRKBY, 1980).

O Mn é ativador de muitas enzimas como descarboxilases, hidrolases e transferidoras de grupos (fosfoquinases e fosfotransferases). Participa ainda da reação de fotólise da água no fotossistema II, formação de clorofila e formação, multiplicação e funcionamento dos cloroplastos, podendo atuar no balanço iônico como contra-íon (SFREDO; BORKET, 2004; SEDIYAMA, 2016), além de atuar na síntese de metabólitos e aminoácidos (SANTOS et al., 2015). É o micronutriente mais associado aos mecanismos de resistência às doenças, principalmente na produção de compostos fenólicos e lignina (ZAMBOLIM; VENTURA, 2012). O Zn age como ativador de enzimas como a sintetase do triptofano, precursora do ácido indolacético (AIA), desidrogenase e anidrase carbônica (SFREDO, 2008), precursor de

aminoácidos e hormônios e crescimento de tecido (SANTOS et al., 2015), podendo atuar, ainda, como barreira física à invasão de patógenos (GRAHAM, 1983).

Estudos mostram que o uso de produtos à base de nutrientes pode ter potencial de induzir resistência do hospedeiro ao nematoide (MIAMOTO et al., 2017; TONINATO et al., 2019). Em experimentos realizados por dois anos de cultivo, Miamoto et al. (2017) observaram que ao pulverizarem produtos à base de S, Cu, Zn, Fe, Mn e C orgânico em plantas de soja acometidas por *P. brachyurus* e *M. javanica*, o número de nematoides total e por grama de raízes foi reduzido. Toninato et al. (2019) observaram que, ao aplicarem produtos à base dos mesmos nutrientes anteriormente citados, além de N, em parte aérea de alfaces infectadas com *M. javanica*, os mesmos também promoveram reduções na reprodução do nematoide.

De acordo com Marschner (2012), a deficiência nutricional leva ao acúmulo de substâncias orgânicas de baixo peso molecular e, dessa forma, reduz a resistência da planta a patógenos. Graham (1983) menciona que Cu, B e Mn influenciam a síntese de lignina. Esta atua como uma barreira de proteção contra patógenos (GRAHAM; WEBB, 1991), como os nematoides. Outros nutrientes, como o Zn, Fe e Ni têm efeitos possivelmente relacionados à síntese de fitoalexinas, enquanto o Si e lítio (Li) atuam como barreira física à invasão de patógenos (GRAHAM, 1983).

Ferraz (2010) relata que a omissão de nutrientes não interfere na redução da atividade dos nematoides, sendo recomendado que o fornecimento de todos os nutrientes necessários para cada cultura seja feito de forma equilibrada, visto que a falta de algum nutriente pode aumentar a severidade de doenças.

2.3.1 Calagem e Controle de Fitonematoides

Os solos podem ser naturalmente ácidos em razão da pobreza do material de origem em cátions básicos, ou por condições de pedogênese ou de formação que favoreça a remoção de elementos químicos do solo (RAIJ et al., 1977). Durante a constituição do solo a partir da rocha, ocorre a ação dos agentes do intemperismo sobre os minerais de argila que levam à liberação de Al^{3+} , Fe^{2+} e Mn^{2+} , dentre outros cátions, para a solução do solo que, ao serem hidrolisados, dissociam íon H^+ , com reflexos na acidificação do solo (ERNANI, 2008). A acidificação dos solos

também pode ocorrer devido aos processos agrícolas que levam à perda de bases, os quais aceleram ou intensificam esse processo (QUAGGIO, 2000).

O cultivo em solos ácidos exige aplicação de corretivos, os quais, ao elevarem seu pH, neutralizam o efeito dos elementos tóxicos e fornecem, preferencialmente, Ca e Mg como nutrientes (ALCARDE, 1985). Entretanto, o uso de corretivos de acidez sem princípios técnicos pode elevar o pH além do necessário, diminuindo a disponibilidade de alguns nutrientes, como P, Mn, Fe, Zn, Cu e B, podendo, em muitos casos, induzir a deficiência destes e causar a queda ou a limitação da produtividade. Portanto, a correção adequada da acidez do solo é fator decisivo para o aumento da produtividade das espécies cultivadas em solos ácidos (SBCS, 2017).

A calagem em solos cultivados com soja, geralmente, aumenta a concentração e a produtividade de proteína (MASCARENHAS et al., 1996), pela melhoria nas condições de fixação biológica do N, em vista da redução da acidez do solo e pelo aumento na disponibilidade de Mo (QUAGGIO et al., 1998). Além disso, solos considerados menos ácidos proporcionam maior resistência da parede celular das raízes e, conseqüentemente, dificultam a entrada, a alimentação e a movimentação de nematoides (SILVA et al., 2017).

Debiasi et al. (2014) estudaram, em três safras, 35 lavouras infestadas por *P. brachyurus* em diferentes regiões do Estado do Mato Grosso. Os resultados indicaram a existência de relação entre a intensidade dos sintomas e os atributos relacionados à acidez do solo. Das reboleiras avaliadas, 66% tinham os teores de Ca inferior, quando comparados com os teores fora das reboleiras. Em 74% das reboleiras, os teores de Ca estavam em patamares inferiores aos níveis indicados adequados para o cultivo da soja. Possivelmente, os menores teores de Ca nas reboleiras deve ter acarretado menor crescimento radicular das plantas e, conseqüentemente, ao aumento de danos nas raízes e na parte aérea das plantas de soja.

3. ARTIGO A: DEFICIÊNCIA NUTRICIONAL EM PLANTAS DE SOJA SOBRE A SEVERIDADE DE DANOS CAUSADOS POR *APHELENCHOIDES BESSEYI*

3.1 RESUMO

Aphelenchoides besseyi ganhou destaque no cenário brasileiro quando foi identificado como o agente etiológico da síndrome da retenção foliar e haste verde em plantas de soja. Até o momento, os efeitos da condição nutricional da cultura sobre as relações parasitárias dessa espécie não são conhecidos. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do desbalanço nutricional da soja sobre a infectividade de *A. besseyi* e a severidade de sintomas nas plantas. O experimento foi realizado em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2×11 , sendo 11 tratamentos: sem nutrientes, a nutrição completa e a omissão individual de N, P, K, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn, com plantas inoculadas e não inoculadas, com seis repetições. Em todos os tratamentos foram avaliados os componentes fitotécnicos: altura de planta, massa fresca da parte aérea e de raízes, comprimento de raízes, índice da área foliar, teor de clorofila (índice SPAD) e teor de macro e micronutrientes nas folhas. Nas plantas não inoculadas foram avaliados também o número de nós e de flores, a formação de vagens, o número de vagens, o volume de raízes e a massa seca da parte aérea. Além destas avaliações, efetuou-se análises nematológicas no solo, raiz e parte aérea das plantas. *Aphelenchoides besseyi* influenciou os componentes de crescimento da soja, sendo que, nos tratamentos de omissão de N, P, K e Cu a severidade dos sintomas nas plantas causados pelo nematoide foi maior. A omissão de Cu demonstrou ter associação com sintomas mais severos nas plantas. A condição nutricional da soja não influencia a infecção de *A. besseyi*, mas, com a aplicação dos nutrientes, de forma equilibrada, pode-se reduzir a severidade da síndrome da haste verde.

Palavras-chave: *Glycine max*. Nematóide da haste verde. Estado Nutricional. Componentes agronômicos.

3.2 ABSTRACT

Aphelenchoides besseyi gained prominence in the Brazilian scenario when it was identified as the etiological agent of the foliar retention and green stem syndrome in soybean plants. To date, the effects of the nutritional condition of the crop on the parasitic relationships of this species are unknown. Thus, the objective of this work was to evaluate the influence of soybean nutritional imbalance on the infectivity of *A. besseyi* and the severity of symptoms in plants. The experiment was carried out in a completely randomized design, in factorial arrangement 2×11 , with 11 treatments: control (no nutrients), complete nutrition and individual omission of N, P, K, S, B, Cu, Fe, Mn and Zn with inoculated and non-inoculated plants, with six replications. In all treatments, the phytotechnical components were evaluated: plant height, shoot and root fresh weight, root length, leaf area index, chlorophyll content (SPAD index) and macro and micronutrient content in leaves. In the non-inoculated plants, the number of nodes, flowers, pod formation, the number of pods, the root volume, and the shoot dry weight were also evaluated. In addition to these evaluations, nematological analyzes were carried out on the soil, roots, and shoots of the plants. *Aphelenchoides besseyi* influenced the soybean growth components, in which treatments with the omission of N, P, K and Cu most influenced the severity of symptoms in plants caused by the nematode. The omission of Cu showed an association with more severe symptoms in plants. The nutritional condition of soybean does not influence *A. besseyi* infection, but with the application of nutrients, in a balanced way, the severity of the green stem syndrome can be reduced.

Keywords: *Glycine max.* Green stem nematode. Nutritional status. Agronomic components.

3.3 INTRODUÇÃO

Aphelenchoides besseyi é um fitonematoide que infecta preferencialmente as partes aéreas das plantas. A sua presença tem apresentado destaque no cenário agrícola brasileiro, devido ao seu elevado potencial de causar danos às culturas, tais como a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (MEYER; FAVORETO,

2019). A integração de medidas de manejo, como a utilização de controle biológico e/ou químico e a sucessão de culturas não hospedeiras dentro do sistema podem diminuir a incidência da doença (MEYER; FAVORETO, 2019).

Até o momento, os efeitos da condição nutricional das plantas sobre as relações parasitárias de *A. besseyi* em seus hospedeiros não são conhecidos. Porém, sabe-se que os nutrientes podem interferir nas plantas de forma direta ou indireta ao ataque de patógenos, reduzindo ou aumentando a severidade da doença, bem como modificar o ambiente do solo, favorecendo ou não a presença dos patógenos, além de induzir resistência ou tolerância na planta hospedeira, dificultando a penetração destes (ZAMBOLIM et al., 2001; DIAS et al., 2021; FERREIRA et al., 2012).

Quando os nutrientes se encontram em doses não equilibradas, influenciam negativamente o vigor e a reação de defesa das plantas e podem contribuir para a mudança na suscetibilidade do hospedeiro às doenças (BEDENDO, 1997). As principais mudanças causadas pela falta de equilíbrio nutricional, capazes de interferir na intensidade da infecção, acontecem na parede celular, cutículas, nos compostos solúveis (açúcares e aminoácidos) das células, suberização, silicificação e lignificação dos tecidos, na síntese e acúmulo de compostos fenólicos (DATNOFF et al., 2007).

Entre os nutrientes das plantas, o nitrogênio é essencial para o crescimento e o rendimento, associado à produção de novos tecidos e, podendo estender o estado vegetativo e aumentar o número de locais de alimentação nas raízes, estimulando o ataque de nematoides. Por outro lado, uma planta que é deficiente em nitrogênio pode se tornar debilitada, apresentar crescimento lento e tornar-se mais suscetível (ZAMBOLIM et al., 2001; FERRAZ et al., 2010).

O potássio (K) influencia a atividade de várias enzimas, em reações envolvidas na utilização de energia, síntese de amido, metabolismo do nitrogênio e respiração, resultando no aumento da resistência à penetração e desenvolvimento de muitos patógenos (MARSCHNER, 1986). Ainda, o K possui efeito benéfico sobre a sanidade das plantas, exercendo grande influência sobre os nematoides (BARBOSA et al., 2009; BORIN et al., 2017). Outros nutrientes como o Cu, B e Mn influenciam a síntese de lignina, que atua como uma barreira de proteção contra patógenos (GRAHAM; WEBB, 1991).

De acordo com Marschner (2012), a deficiência nutricional leva ao acúmulo de substâncias orgânicas de baixo peso molecular e, dessa forma, reduz a resistência da planta a patógenos.

Diante disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influência do desbalanço nutricional da soja sobre a infectividade de *A. besseyi* e a severidade de sintomas nas plantas.

3.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação na Embrapa Soja, com temperatura média de 25 °C (± 2 °C) e nebulizações constantes de 15 segundos a cada 40 minutos, em delineamento inteiramente casualizado (DIC), em esquema fatorial 2 \times 11. Os níveis do primeiro fator consistiram em plantas inoculadas e não inoculadas, enquanto os níveis do segundo fator, em plantas com omissão completa ou individual dos nutrientes, com seis repetições.

O solo utilizado como parte do substrato foi um Latossolo Vermelho Amarelo coletado na profundidade de 0 a 0,2 m no município de Ponta Grossa, Paraná, com os seguintes atributos químicos: pH (CaCl₂) = 4,8, MOS = 51,3 g dm⁻³, P (Mehlich 1) = 5,3 mg kg⁻¹, Ca²⁺ = 3,1 cmol_c kg⁻¹, Mg²⁺ = 2,3 cmol_c kg⁻¹, K⁺ = 0,4 cmol_c kg⁻¹, Al³⁺ = 0,4 cmol_c kg⁻¹, H+Al = 6,4 cmol_c kg⁻¹, CTC = 12,2 cmol_c kg⁻¹, argila = 600 g kg⁻¹ e areia = 170 g kg⁻¹.

O solo foi previamente autoclavado para eliminar a presença de fitonematoides, preparado na proporção 3:1 (areia e solo) e acondicionado em vasos de um litro. Foram semeadas duas sementes da cultivar de soja BRS 284 por vaso e, após 10 dias da emergência, foi realizado o desbaste, deixando apenas uma planta. Em seguida, realizou-se a inoculação de 500 nematoides por vaso, depositando-se a suspensão em um orifício, com aproximadamente 2,0 cm de profundidade, aberto no solo, próximo ao colo da planta.

Os nematoides foram obtidos a partir de uma população pura de *A. besseyi*, multiplicada em placas de Petri com colônias de *Fusarium* sp., com aproximadamente cinco dias de crescimento em meio batata-dextrose-água (BDA) e mantidas em câmaras tipo BOD a 25 °C (± 1 °C) no escuro, por 30 dias (FAVORETO et al., 2011). O inóculo foi obtido com a preparação de suspensões dos mesmos em água, coletando-se os nematoides em peneiras de 25 μ m, com a lavagem da parte

interna das tampas das placas de Petri. Nos tratamentos sem inoculação de *A. besseyi*, as plantas receberam água na mesma proporção da suspensão.

Após 10 dias da inoculação, as soluções nutritivas (N, P, K, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn) foram previamente preparadas com as quantidades descritas por Malavolta (1980), para experimentos realizados em casa de vegetação, e aplicadas. O tratamento completo consistiu de 100 mg kg^{-1} de N como ureia (45% N); 150 mg kg^{-1} de P como MAP (54% P_2O_5); 100 mg kg^{-1} de K (KCl); 100 mg kg^{-1} de S como S elementar (98% de S); $1,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de B como H_3BO_3 ; $2,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu como $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de FeCl_2 ; $2,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn como $\text{MnCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ e $5,0 \text{ mg kg}^{-1}$ como ZnCl_2 . Nos demais, em cada tratamento, omitiu-se um nutriente.

Aplicou-se a quantidade de solução de 10 mL de cada nutriente para cada tratamento. As aplicações foram realizadas em quatro dias, aplicando-se em média de 2 a 3 nutrientes por dia. Coletores de plásticos foram inseridos embaixo de cada vaso a fim de retornar à solução lixiviada. Quando necessário, a água retida nos recipientes era repostada para o vaso, impedindo a perda da solução nutritiva. A visão geral do experimento pode ser observada na Figura 3.1 contendo as plantas não inoculadas, e na Figura 3.2, contendo as plantas inoculadas.

Figura 3.1 - Visão geral de plantas não inoculadas.



Fonte: Próprio autor

Figure 3.2 - Visão geral de plantas inoculadas.



Fonte: Próprio autor

Completados 40 dias da aplicação da solução nutritiva e 50 dias da inoculação dos nematoides, foram realizadas as avaliações. Para a altura da planta (AP), foi realizada a medida a partir do nível do solo até o ápice do ramo principal da planta. Aferiu-se a massa fresca da parte aérea (MFPA) assim que o material foi coletado. O comprimento e a massa fresca das raízes (MFR) foram aferidos após estas serem lavadas em água corrente para a retirada do solo aderido, sendo deixadas em repouso por 120 minutos para a retirada do excesso de água.

Foi determinado o índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*) com o clorofilômetro KONICA MINOLTA® SPAD 502, amostrando-se o terceiro trifólio do ápice para a base da planta, considerando sempre o folíolo central, além do índice da área foliar (IAF), por um integrador de área foliar da marca LI-COR®, modelo LI 3100. Ainda, avaliou-se os componentes de produção das plantas, tais como nº de nós, flores, canivetes e vagens.

Para as avaliações nutricionais da parte aérea, coletou-se o terceiro e quarto trifólios das plantas que, em seguida, foram moídos e submetidos à análise química para a determinação dos teores de macronutrientes principais (N, P, K, S) e micronutrientes (Cu, Fe, Mn e Zn), adotando-se as metodologias descritas por Malavolta; Vitti; Oliveira (1997). Determinou-se os teores de N por titulação, P e S por colorimetria, K por fotometria de chama, e Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn no tecido por espectrofotometria de absorção atômica.

Para as avaliações nematológicas, seguiu-se o método de Coolen e D'Herde (1972) para processar as massas frescas (MFPA e MFR) e Jenkins (1964) para o solo, sendo os nematoides quantificados em câmara de Peters, sob microscópio de luz, com aumento de 40 x.

A sintomatologia da síndrome da haste verde e o desbalanço nutricional foram avaliados durante o desenvolvimento da cultura e, ao final do ensaio, realizou-se a comparação entre as plantas inoculadas e não inoculadas de cada tratamento.

Foram analisados dois componentes de produção nos tratamentos sem inoculação, a fim de observar a influência da nutrição nas plantas sem a infecção dos nematoides. Avaliou-se o peso da massa seca da parte aérea e o volume das raízes, as massas frescas das partes aéreas foram colocadas em sacos de papel para secar em estufa durante dois dias e, em seguida, foram aferidas, enquanto os volumes de raízes foram aferidos pelo método de deslocamento de água.

Para a análise da altura de planta (AP), massa fresca da parte aérea (MFPA) da soja e número de *A. besseyi* na MFPA, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste F e ao teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Os dados de comprimento das raízes (CR), massa fresca de raízes (MFR), índice SPAD e índice da área foliar (IAF) em relação ao estado nutricional da soja e à presença (+) e ausência (-) de *A. besseyi* foram submetidos à testes de normalidade dos erros (Shapiro Wilk), análise de variância (ANOVA), teste F e ao teste de Scott-Knott a 5% de significância.

3.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não foram encontrados nematoides nas raízes e no solo. Entretanto, exemplares de *A. besseyi* foram encontrados em todas as amostras de parte aérea analisadas. Este nematoide reduziu a altura das plantas nos tratamentos com omissão de N, P e Cu e sem nutrição. Sem o nematoide, ocorreu a redução das plantas apenas no tratamento com a omissão de P (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 - Componentes de crescimento [altura de planta (AP) e massa fresca da parte aérea (MFPA)] da soja em resposta à presença (+) e ausência (-) de *Aphelenchoides besseyi* e número total de nematoides na MFPA.

Tratamentos	AP		MFPA		<i>A. besseyi</i> total na MFPA (n°)
	(cm)		(g)		
	(+)	(-)	(+)	(-)	
Controle	39,1 bB	85,3 aA	3,9 bB	6,3 aA	317 ^{ns}
Completo	56,1 aB	101,3 aA	4,8 aB	6,8 aA	527
- N	42,3 bB	99,2 aA	4,3 bB	6,5 aA	263
- P	39,3 bA	47,8 bA	3,9 bA	4,5 bA	200
- K	56,7 aB	88,3 aA	4,7 bB	6,1 aA	230
- S	69,0 aA	88,8 aA	5,5 aA	6,1 aA	297
- B	64,0 aA	80,7 aA	5,0 aA	6,1 aA	238
- Cu	39,5 bB	91,0 aA	4,2 bB	6,4 aA	245
- Fe	63,5 aB	90,5 aA	5,3 aB	6,4 aA	343
- Mn	58,5 aA	77,8 aA	5,1 aA	5,8 aA	312
- Zn	65,5 aA	83,3 aA	4,9 aA	5,3 bA	217
MÉDIA	53,9	84,9	4,7	6,0	289,9
CV (%)	27,37%		16,79%		12,7%

*Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem pelo teste de Scott-Knott ($p \leq 0,05$); ns = não significativo.

O N é o nutriente requisitado em maior quantidade pela soja (BAHRY et al., 2013) e sua carência propicia redução no crescimento vegetal (MAIA et al., 2014). Observou-se também, neste trabalho, maior efeito restritivo no desenvolvimento das plantas com a sua omissão.

Com a omissão de P, as plantas ficaram menores e com valores inferiores de MFPA, o que corrobora com os resultados de Prado et al. (2010), em que a sintomatologia de carência de P observada caracterizou-se pela presença de plantas raquíticas. A omissão de Cu reduziu o crescimento das plantas e ocasionou o encarquilhamento e clorose na margem das folhas, corroborando com os resultados de Maia et al. (2014).

Para MFPA, nos tratamentos com *A. besseyi*, observou-se que a omissão de N, P, K e Cu apresentaram os menores valores. Na ausência do nematoide, apenas os tratamentos com omissão de P e Zn apresentaram menores valores (Tabela 3.1).

O efeito da presença de nematoides sobre o estado nutricional das plantas foi verificado por Dias et al. (2021), que observaram redução na MFPA quando omitiram o N. Da mesma forma, Barreto et al. (2017) relataram a redução na MFPA do morangueiro nos tratamentos sem N, P e K.

Carlos et al. (2014) evidenciaram que o distúrbio nutricional das plantas altera seu crescimento, desenvolvimento e características morfológicas

específicas. O Zn, cuja deficiência altera a formação do ácido indolacético (AIA), ocasiona folhas mais estreitas e internódios curtos (MOREIRA et al. 2018). Dias et al. (2021), quando estudaram a omissão de Zn na presença de *M. javanica*, observaram a clorose e redução da MFPA em soja.

A quantidade de *A. besseyi* na MFPA não se diferenciou entre os tratamentos (Tabela 3.1). Pode-se presumir que a omissão dos nutrientes não interfira na redução da atividade do nematoide, no entanto, o fornecimento dos nutrientes de forma equilibrada pode minimizar a severidade da doença (FERRAZ, 2012).

Fancelli (2008) aponta que os micronutrientes mais importantes na prevenção de doenças são Cu, B e Mn.

Estudos realizados com o N, tanto na forma de amônio (NH_4^+) ou de nitrato (NO_3^-), mostraram resultados promissores sobre a infectividade de nematoides (FERRAZ et al., 2010). Quando em forma de amônio, tanto presente em fertilizantes quanto em matéria orgânica, é considerado mais prejudicial aos nematoides do que em forma de nitrato, devido à liberação de amônia livre (NH_3) no solo durante sua decomposição (RODRÍGUEZ-KÁBANA et al., 1981; RODRÍGUEZ-KÁBANA, 1986).

Ainda, o fosfito de potássio apresentou eficácia na redução da população de *Pratylenchus brachyurus* em milho (DIAS-ARIEIRA et al., 2012), possivelmente devido à sua capacidade de estimular mecanismos de defesa vegetal, como a produção de fitoalexinas (DERKS; CREASY, 1989). Resultados semelhantes foram relatados para outras espécies de nematoides, como *Heterodera avenae* e *Meloidogyne marylandi* em trigo e aveia (OKA et al., 2007).

Barbosa et al. (2010) avaliaram, em cultivares de soja resistentes e suscetíveis, o uso de potássio sobre a patogenicidade de *H. glycines* e observaram que doses crescentes deste macronutriente reduziram o número de fêmeas no sistema radicular das cultivares suscetíveis. Da mesma forma, em experimento desenvolvido por Pinheiro et al. (2009), doses de potássio influenciaram o fator de reprodução de *H. glycines* em soja.

Os sintomas da doença causada pelo nematoide foram observados em todos os tratamentos e, em algumas omissões (-N, -P, -K, -Cu), se mostraram mais severos (Figura 3.2).

Figure 3.3 - Sintomas da síndrome causada pelo nematoide: superbrotamento (A), engrossamento de nós e necrose dos racemos florais (B), folhas afiladas e embolhamento no limbo foliar (C) e manchas angulares (D).



Fonte: Próprio autor

O comprimento das raízes (CR) foi maior nos tratamentos com nutrição completa, omissão de N e P e sem nutrição (Tabela 3.2).

Tabela 3.2 - Comprimento da raiz (CR) e massa fresca da raiz (MFR) da soja em resposta à presença (+) e ausência (-) de *Aphelenchoides besseyi*.

TRATAMENTOS	CR		MFR	
	(+)	(-)	(+)	(-)
Controle	42,83Aa	27,17Ab	3,02Ab	4,75Ba
Completo	39,83Aa	27,33Ab	3,01Ab	5,57Aa
Omissão de N	44,00Aa	20,17Ab	1,08Cb	4,83Ba
Omissão de P	43,33Aa	20,83Ab	0,87Cb	1,75Ea
Omissão de K	28,33Ba	25,67Aa	0,71Cb	4,11Ca
Omissão de S	28,33Ba	23,50Aa	1,57Bb	4,00Ca
Omissão de B	24,00Ba	22,00Aa	1,35Bb	2,90Da
Omissão de Cu	25,17Ba	21,33Aa	0,92Cb	4,72Ba
Omissão de Fe	25,83Ba	22,00Aa	1,77Bb	5,75Aa
Omissão de Mn	19,33Ba	19,83Aa	1,73Bb	4,10Ca
Omissão de Zn	32,67Ba	16,67Ab	2,54Ab	5,17Aa
MÉDIA	32,15a	22,40b	1,77b	4,18a
TEST F				
Nutrientes (a)		ns		*
Nematoide (b)		*		*
a x b		ns		*
CV (%)		25,38		15,99

*Significativo a 5% de significância. Médias seguidas por letras distintas maiúscula na mesma coluna e minúscula na mesma linha dentro de cada variável diferem entre si.

Aphelenchoides besseyi influenciou a massa fresca de raízes, com menores valores nos tratamentos com omissão de N, P, K e Cu (Tabela 3.2). A mobilidade e disponibilidade do P nas raízes é baixa, fazendo com que os sinais morfológicos iniciais à sua carência se manifestem conforme mudanças no crescimento e arquitetura das raízes (GENARI et al., 2021).

O índice SPAD tem alta correlação com o teor de clorofila e é eficaz para estimar a quantidade de N assimilado pelas plantas. Neste trabalho, observou-se que as plantas com a presença do nematoide, nos tratamentos sem nutrição e nutrição completa, apresentaram os menores valores desta variável. Nas plantas sem o nematoide, não houve diferença entre os tratamentos (Tabela 3.3). As plantas afetadas por *A. besseyi* apresentam folhas com coloração verde mais intenso (MEYER; FAVORETO 2019) e aumento do índice SPAD.

Tabela 3.3 - Índice SPAD e índice da área foliar em resposta ao estado nutricional da soja e à presença (+) e ausência (-) de *Aphelenchoides besseyi*.

TRATAMENTOS	SPAD		ÁREA FOLIAR	
	(+)	(-)	(+)	(-)
Sem nutrição	30,39Bb	35,37Aa	91,87Bb	1080,26Aa
Nutrição completa	32,55Ba	33,64Aa	159,40Bb	864,26Ba
Omissão de N	37,81Aa	33,89Aa	118,93Bb	704,36Ca
Omissão de P	36,74Aa	30,46Ab	118,28Bb	202,48Da
Omissão de K	37,20Aa	33,79Aa	236,85Ab	656,23Ca
Omissão de S	36,60Aa	33,46Aa	234,32Ab	741,90Ca
Omissão de B	37,16Aa	31,71Ab	232,64Ab	683,38Ca
Omissão de Cu	40,30Aa	34,44Ab	153,97Bb	716,33Ca
Omissão de Fe	38,24Aa	34,76Aa	181,06Ab	758,33Ca
Omissão de Mn	40,91Aa	34,75Ab	253,14Ab	677,29Ca
Omissão de Zn	36,49Aa	33,19Aa	211,08Aa	204,06Da
MÉDIA	36,76a	33,58b	181,05b	663,08a
TEST F				
Nutrientes (a)		*		ns
Nematoide (b)		*		*
a x b		*		*
CV (%)		9,45		13

*Significativo a 5% de significância. Médias seguidas por letras distintas maiúscula na mesma coluna e minúscula na mesma linha dentro de cada variável diferem entre si.

O índice de área foliar (IAF), que considera a área da parte superior das folhas do dossel em relação à área de solo, afeta a interceptação de radiação solar e a quantidade de fotoassimilados produzidos pelas plantas, está apresentado na Tabela 3.3. Nas plantas infectadas pelo nematoide, os tratamentos sem nutrição, nutrição completa, omissão de N, P, K e Cu apresentaram os menores valores de área foliar. Para as plantas sem o nematoide, a maior área foliar foi encontrada no tratamento sem nutrição, seguida do tratamento com nutrição completa. Os menores valores da área foliar foram encontrados nos tratamentos com omissão de P e Zn.

Nas plantas não inoculadas foram analisadas outras duas variáveis de interesse agrônomo: volume de raiz e massa seca de parte aérea. O tratamento com nutrição completa apresentou valor mediano de volume de raízes, sendo os maiores volumes observados no tratamento sem nutrição. Para a massa seca da parte aérea (MSPA), o tratamento com a omissão de P foi o que apresentou menor valor (Tabela 3.4).

Tabela 3.4 - Volume de raízes e massa seca da parte aérea (MSPA) de plantas de soja sem inoculação de *Aphelenchoides besseyi*.

TRATAMENTOS	Volume de Raízes	MSPA
	cm ³	g
Controle	13,33a	7.24a
Completo	8,33b	7.81a
Omissão de N	7,08c	7.15a
Omissão de P	4,33c	1.94b
Omissão de K	3,42c	5.98a
Omissão de S	4,67c	5.78a
Omissão de B	3,08c	5.67a
Omissão de Cu	3,25c	6.30a
Omissão de Fe	4,92c	6.51a
Omissão de Mn	3,50c	6.09a
Omissão de Zn	4,91c	4.73a
MÉDIA	5,52	5,93a
CV%	54,59	41,1

*Médias seguidas por letras distintas na mesma coluna diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Scott-Knott.

Os componentes fitotécnicos (nós, racemos florais, canivetes e vagens das plantas) foram avaliados no estágio R1-R2. Nos tratamentos sem *A. besseyi*, foi observada a presença de todos esses componentes (Tabela 3.5), enquanto na presença do patógeno, as plantas estavam com desenvolvimento tardio

e foi observado apenas os nós e racemos florais, sendo que parte destes estavam necrosados (Tabela 3.6). Inicialmente, os sintomas de deficiência foram observados nas plantas submetidas à inoculação e, conforme o desenvolvimento das plantas, maior severidade nos sintomas era observada, em comparação às não inoculadas. Nas plantas infectadas por nematoides, os sintomas de deficiência nutricional podem se manifestar mesmo que os nutrientes estejam disponíveis em níveis adequados no solo (FERRAZ, 2012).

Tabela 3.5 - Média de nós, flores, formação de vagens e vagens das plantas sem a inoculação de *Aphelenchoides besseyi*.

TRATAMENTOS	NÓS	FLORES	FORMAÇÃO DE VAGENS	VAGENS
	Nº	Nº	Nº	Nº
Controle	19,7	1,3	2,8	6,0
Completo	23,5	3,4	7,0	7,5
Omissão de N	20,2	20,2	4,5	11,5
Omissão de P	9,0	9,0	2,3	4,7
Omissão de K	19,3	19,3	5,5	6,0
Omissão de S	19,0	18,5	4,2	8,0
Omissão de B	17,3	17,3	4,3	9,5
Omissão de Cu	18,7	18,7	4,5	11,0
Omissão de Fe	15,7	15,7	5,2	9,2
Omissão de Mn	13,5	13,5	3,7	7,3
Omissão de Zn	12,7	12,7	1,8	5,2
MÉDIA	17,1	13,6	4,2	7,8

Tabela 3.6 - Número total de racemos florais e porcentagem de racemos florais necrosados em resposta à presença de *Aphelenchoides besseyi*.

TRATAMENTOS	RACEMOS FLORAIS		RACEMOS FLORAIS NECROSADOS	
	Nº	Nº	Nº	%
Controle	46	16	16	35
Completo	67	7	7	10
Omissão de N	50	8	8	16
Omissão de P	48	17	17	35
Omissão de K	63	11	11	17
Omissão de S	84	11	11	13
Omissão de B	74	18	18	24
Omissão de Cu	50	20	20	40
Omissão de Fe	89	8	8	9
Omissão de Mn	86	12	12	14
Omissão de Zn	76	6	6	8
MÉDIA	66,6	12,2	12,2	20,1

O tratamento com a nutrição completa apresentou a maior média de quantidade de nós e canivetes formados, sendo os menores valores encontrados nos tratamentos com omissão de P, Zn e sem nutrição (Tabela 3.5).

As menores quantidades de nós foram encontradas nos tratamentos sem nutrição e com omissão de P, N e Cu. A maior quantidade de racemos florais necrosados foi encontrada no tratamento com omissão de Cu, seguido do tratamento sem nutrição e omissão de P (Tabela 3.6).

Além dos efeitos de concentração e diluição decorrentes da produção de massa fresca, pode ser observado na Tabela 3.7 que a presença de *A. besseyi* nos tratamentos com omissão aumentou a concentração de P, K, Cu, Fe e Zn em 155,0, 42,1, 363,6, 336,3 e 97,8%, respectivamente, e diminuiu a de N, S e Mn em 23,7, 4,8 e 95%, indicando que a infecção pelo nematoide altera o metabolismo das plantas e afeta, principalmente, os nutrientes envolvidos na síntese de proteínas.

Tabela 3.7 - Teor de nutrientes na matéria seca da parte aérea da soja no estágio reprodutivo R2-R3, em virtude dos tratamentos de adubação na presença e ausência de *Aphelenchoides besseyi*.

Teores	Tratamentos									
	Sem nutrição	Nutrição Completa	-N	-P	-K	-S	-Cu	-Fe	-Mn	-Zn
Com nematoide										
N (g kg ⁻¹)	36,3a	39,9a	37,5a							
P (g kg ⁻¹)	9,1a	10,6a		8,2a						
K (g kg ⁻¹)	56,6a	49,1a			29,4 ^a					
S (g kg ⁻¹)	1,7a	1,6a				1,5a				
Cu (mg kg ⁻¹)	4,2 b	2,4 b					10,2a			
Fe (mg kg ⁻¹)	201,2b	121,1b						302,6a		
Mn (mg kg ⁻¹)	488,8b	583,8a							610,2b	
Zn (mg kg ⁻¹)	58,0c	151,5a								70,6b
Sem nematoide										
N (g kg ⁻¹)	29,0c	36,9b	46,3a							
P (g kg ⁻¹)	9,6a	9,5a		3,2b						
K (g kg ⁻¹)	43,6a	18,4c			20,7b					
S (g kg ⁻¹)	1,2b	1,1b				1,5a				
Cu (mg kg ⁻¹)	1,1a	9,6c					2,2b			
Fe (mg kg ⁻¹)	104,8a	100,7b						73,5c		
Mn (mg kg ⁻¹)	561,5c	741,5a							668,0a	
Zn (mg kg ⁻¹)	71,7b	131,9a								35,8c

* Médias seguidas por letras distintas na mesma linha diferem entre si a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Dias et al. (2021), ao estudarem nematoides que se alimentam do sistema radicular das plantas, observaram menores teores de nutrientes na matéria seca da parte aérea da soja, na presença de *M. javanica*. Inferindo-se sobre o desenvolvimento das diferentes patogenicidades na soja, os fitonematoides de raiz não influenciam diretamente na produção de vagens e grãos, mas comprometem a absorção dos nutrientes o que causa sintomas característicos de deficiência nutricional. Ao contrário, plantas infectadas com *A. besseyi* são impedidas de concluir o seu propósito final, que é a produção de grãos. O nematoide, ao se alimentar dos racemos florais, provoca uma necrose em seus tecidos e a interrupção da formação de vagens e grãos. Consequentemente, o movimento da rota fonte-dreno é perdido, ocasionando o acúmulo de nutrientes nas células. Isto, talvez, possa explicar os sintomas específicos provocados por este patógeno, que é o aumento da coloração nas folhas e o engrossamento das hastes.

3.6 CONCLUSÕES

Aphelenchoides besseyi influencia o desenvolvimento da soja, independente do estado nutricional da planta.

Os tratamentos com omissão de N, P, K e Cu foram os que mais influenciaram na severidade dos sintomas causados pelo nematoide e a omissão de Cu demonstrou ter associação com a necrose dos racemos florais.

A condição nutricional da soja não influencia a infecção de *A. besseyi*, mas a nutrição equilibrada das plantas reduziu a severidade da doença.

O teor de clorofila (índice SPAD) é influenciado pela presença do patógeno.

Este é o primeiro estudo sobre a relação entre a nutrição da soja com a patogenicidade de *A. besseyi*.

4. ARTIGO B: AVALIAÇÃO DA DENSIDADE POPULACIONAL DE *APHELENCHOIDES BESSEYI* EM FUNÇÃO DE DOSES DE CALCÁRIO NA SOJA

4.1 RESUMO

Entre os principais problemas encontrados na agricultura nos trópicos, destacam-se o balanço inadequado da fertilidade e a elevada acidez do solo. Os solos das regiões onde ocorrem perdas de produtividade em lavouras de soja devido à presença de *A. besseyi* são naturalmente ácidos e apresentam altos teores de Al trocável. Em busca por alternativas de manejo para áreas infestadas por *A. besseyi*, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de níveis de calcário sobre a densidade populacional do patógeno, na cultura da soja. O experimento foi realizado em casa de vegetação e, para os componentes de crescimento [altura, massa fresca de raízes (MFR) e da parte aérea (MFPA), matéria fresca total (MFT) e comprimento de raízes], adotou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 2×6 , sendo os tratamentos divididos em inoculado e não inoculado e, dentro desses, foram aplicadas seis doses de calcário dolomítico (0, 2, 4, 6, 8 e 10 t ha^{-1}), com cinco repetições. A aplicação de calcário ocasionou, independentemente da presença ou não de *A. besseyi*, aumento significativo da produção de MFPA, MFR e MFT. Com o aumento das doses de calcário, ocorreu redução da densidade populacional de *A. besseyi* na MFR e MFT.

Palavras-chave: Calcário dolomítico. Nematóide da haste verde. *Glycine max*. Grau de infestação.

1.1 ABSTRACT

Amongst the main problems for tropical agriculture are the inadequate balance of fertility and the high acidity of the soils. Soils in regions where yield losses occur in soybean crops due to the presence of *A. besseyi* are naturally acidic and have high levels of exchangeable Al. In search of management alternatives for areas infested by *A. besseyi*, the study aimed to evaluate the effect of limestone levels on the population density of the pathogen in soybean. The experiment was carried out in a greenhouse and, for the growth components [height, fresh root (MFR) and shoot (MFPA) weights,

total fresh matter (MFT) and length of roots], the design adopted was the completely randomized in a 2×6 factorial scheme, with treatments divided into inoculated and non-inoculated and, within these, six doses of dolomitic limestone were applied (0, 2, 4, 6, 8 and 10 t ha^{-1}), with five replicates. The application of lime caused, regardless of the presence or absence of *A. besseyi*, a significant increase in MFPA, MFR, and MFT. With increasing doses of limestone, there was a reduction in the population density of *A. besseyi* in MFR and MFT.

Keywords: Dolomitic limestone. Green stem nematode. *Glycine max*. Infestation level.

4.3 INTRODUÇÃO

A importância econômica da presença de *Aphelenchoides besseyi* tem tido destaque no cenário agrícola brasileiro, principalmente após ser identificado como o agente etiológico da doença conhecida como síndrome da haste verde e retenção foliar na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Os principais sintomas se caracterizam por plantas com retenção foliar, engrossamento dos nós e baixa senescência. A doença se restringe às regiões mais quentes e chuvosas do país, como os estados do Maranhão, Tocantins, Pará, Amapá e norte do Mato Grosso, podendo resultar em perdas de até 100% do rendimento da cultura, nas áreas mais infestadas (MEYER et al., 2017).

Aphelenchoides besseyi é considerado um fitoparasita não obrigatório, uma vez que sobrevive como micófago, alimentando-se de fungos decompositores de matéria orgânica do solo, na ausência de plantas hospedeiras. Em condições extremas de desidratação, pode entrar em anidrobiose e sobreviver no interior de restos culturais por longos períodos (FAVORETO et al., 2011; JESUS; CARES, 2016). Em função da dinâmica da população do nematoide, sua interação com o meio e as condições oferecidas ao seu desenvolvimento, sua densidade populacional pode ser influenciada pela qualidade do solo. Dessa forma, a nematofauna é alterada pelos atributos físicos e químicos do solo (ARIEIRA, 2012).

Dentro desse contexto, entre os principais problemas encontrados na agricultura nos trópicos, destacam-se o balanço inadequado da fertilidade e a elevada acidez do solo. A relação entre a acidez do solo e a multiplicação de fitonematoides

foi relatada por Debiasi et al. (2011), cujos sintomas mais intensos causados por *Pratylenchus brachyurus* foram observados em lavouras de soja com solos de maior acidez, altos níveis de Al^{3+} e baixos teores de Ca^{2+} e Mg^{2+} . No entanto, para *Heterodera glycines*, a relação é contrária, sendo a severidade dos sintomas relacionada com valores mais elevados de pH (PINHEIRO et al., 2008).

Os solos das regiões onde ocorrem perdas de produtividade em lavouras de soja devido à presença de *A. besseyi* são naturalmente ácidos e apresentam altos teores de Al trocável. Além da toxicidade do Al^{3+} para as plantas, é comum ocorrer também a deficiência de Ca^{2+} e Mg^{2+} . Solos com essas condições podem causar a redução do crescimento do sistema radicular de várias espécies vegetais, incluindo a soja. Para minimizar esse efeito negativo, a utilização do calcário acarreta elevação dos teores trocáveis de Ca e Mg, neutraliza o Al trocável e eleva o pH do solo. É um produto de baixa solubilidade em água e sua ação neutralizante depende da superfície de contato e da umidade do solo (RODRIGHERO et al., 2015).

Em busca por alternativas de manejo para esse fitonematoide e considerando as relações entre a acidez do solo e os fitonematoides, o trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de níveis de calcário sobre a densidade populacional de *A. besseyi*, na cultura da soja.

4.4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação da Embrapa Soja, com temperatura média de 25 °C (± 2 °C) e nebulizações de 15 segundos a cada 40 minutos para manter a umidade relativa acima de 80%. Para os componentes de crescimento [altura, massa fresca de raízes (MFR) e da parte aérea (MFPA) e comprimento de raízes] e grau de infestação de *A. besseyi* nas raízes e parte aérea adotou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 2×6 , sendo os tratamentos divididos em inoculado e não inoculado e, dentro desses, foram aplicadas as seis doses de calcário dolomítico (0, 2, 4, 6, 8 e 10 t ha⁻¹), com cinco repetições.

No substrato (3:1, areia e solo) foi realizada a correção do solo com calcário dolomítico (MgO >13,0% e PRNT = 95%) em vasos de um litro de capacidade, com as doses de calcário para cada tratamento, que permaneceram sob irrigação constante por 30 dias, com a umidade do solo próxima à capacidade de campo. O

solo utilizado foi um Latossolo Vermelho Amarelo coletado na profundidade de 0 a 0,2 m no município de Ponta Grossa, Paraná, com os seguintes atributos químicos: pH (CaCl₂) = 4,8, MOS = 51,3 g dm⁻³, P (Mehlich 1) = 5,3 mg kg⁻¹, Ca²⁺ = 3,1 cmol_c kg⁻¹, Mg²⁺ = 2,3 cmol_c kg⁻¹, K⁺ = 0,4 cmol_c kg⁻¹, Al³⁺ = 0,4 cmol_c kg⁻¹, H+Al = 6,4 cmol_c kg⁻¹, CTC = 12,2 cmol_c kg⁻¹, argila = 600 g kg⁻¹ e areia = 170 g kg⁻¹.

Posteriormente, cada vaso foi semeado com quatro sementes da cultivar de soja convencional BRS 284 e, após 15 dias, foi realizado o desbaste, deixando-se apenas uma planta por vaso. Em seguida, realizou-se a inoculação de 500 nematoides/planta, depositando-se a suspensão no solo próximo ao colo da planta. Os nematoides foram obtidos a partir de uma população pura de *A. besseyi* multiplicada em placas de Petri com colônias de *Fusarium* sp. com cinco dias de crescimento em meio batata-dextrose-ágar (BDA) e mantidas em câmaras tipo BOD a 25°C (±1°C) no escuro por 30 dias (FAVORETO et al., 2011). O inóculo foi obtido pela preparação de suspensões em água, coletando-se os nematoides em peneiras de 25 µm, pela lavagem da parte interna das tampas das placas de Petri, com jatos de água. Aos 45 dias após a inoculação (DAI), a parte aérea foi seccionada acima do solo, determinando-se a massa fresca e, posteriormente, processada de acordo com a metodologia descrita por Coolen e D'Herde (1972), sendo os nematoides quantificados em câmara de Peters, sob microscópio de luz, na magnitude de 40x.

As raízes foram retiradas e lavadas em água corrente, secas em papel toalha e, após aferida a massa fresca, foram processadas com a mesma metodologia descrita para a parte aérea para quantificar os nematoides. Para a avaliação dos nematoides do solo, após homogeneizar a amostra, coletou-se 100 g de cada repetição por tratamento, seguindo-se a metodologia de Jenkis (1964) e a contagem de nematoides como descrito anteriormente.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), teste F e, posteriormente, à análise de regressão a 5% de significância. Os dados de infecção com nematoides na PA, raízes e solo foram transformados por $\sqrt{x + 0,5}$.

4.5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de calcário ocasionou, independentemente da presença ou não de *A. besseyi*, aumento significativo da MFPA, MFR e MFT. Para a variável altura, houve efeito somente no tratamento sem nematoide, enquanto no comprimento

de raízes, não houve efeito dos tratamentos (Tabela 4.1). Resultados semelhantes foram obtidos por Andrade et al. (2019) que, ao estudarem a resposta da soja a níveis de calcário na presença de *A. besseyi*, também obtiveram incremento significativo na produção de MFPA. O efeito positivo da calagem verificado no incremento da produção da parte vegetativa das plantas corrobora com os resultados de Moreira et al. (2017) que, ao estudarem diferentes cultivares e doses, relataram que, independente da cultivar, a soja foi responsiva à aplicação de calcário.

Tabela 4.1 - Componentes de crescimento da soja em resposta à presença (+) e ausência (-) de *Aphelenchoides besseyi* em crescentes doses de calcário.

Calcário t ha ⁻¹	Altura		Raízes		MFPA		MFR		MFT	
	(-) (cm)	(+)	(-) (cm)	(+)	(-) g por vaso	(+)	(-) g por vaso	(+)	(-) g por vaso	(+)
0	21,3	21,6	33,2	27,4	2,1	2,0	2,0	1,8	4,1	3,9
2	21,8	20,5	31,4	30,2	2,3	2,6	2,1	2,2	4,4	4,8
4	22,8	17,6	33,0	32,6	2,8	2,5	2,2	1,9	5,0	4,4
6	23,3	22,8	43,9	34,3	2,6	3,1	2,3	2,4	4,8	5,5
8	25,4	20,6	38,1	29,8	3,0	3,0	2,4	2,4	5,4	5,4
10	25,8	19,8	29,7	32,4	3,6	3,9	3,2	2,6	6,7	6,5
Média	23,4	20,9	34,9	31,1	2,7	2,9	2,4	2,2	5,1	5,1
Teste F:										
Inoculação (a)	ns		ns		ns		ns		ns	
Doses (a)	*	ns	ns	ns	*	*	*	*	*	*
a × b	ns		ns		ns		ns		ns	
CV (%)	8,33	10,17	13,12	8,85	15,67	27,26	14,71	11,49	14,37	19,30

* e ns significativo e não significativo a 5% de significância. MFPA = massa fresca da parte aérea. MFR = massa fresca de raízes. MFT = massa fresca total.

Observou-se também que a alteração dos atributos químicos do solo na rizosfera, com aumento das doses de calcário, promoveu redução da densidade populacional do fitonematoide na MFR e MFT (Tabela 4.2). Debiasi et al. (2011) e Andrade et al. (2019), ao monitorarem a fertilidade do solo cultivado com soja, verificaram que a acidez do solo está diretamente relacionada ao nível de infestação de nematoides nas plantas.

Tabela 4.2 - Densidade populacional de *Aphelenchoides besseyi* na massa fresca da parte aérea das plantas (MFPA), massa fresca de raízes (MFR), massa fresca total (MFT) e no substrato em resposta às doses de calcário.

Calcário t ha ⁻¹	MFPA (n)	MFR (n)	MFT (n)	Substrato (n)
0	8,6	2,7	14,4	3,1
2	9,8	3,5	14,1	0,8
4	9,6	2,2	14,2	2,4
6	6,7	0,8	10,0	2,6

8	4,6	0,9	9,7	4,2
10	9,3	0,8	10,8	0,8
Média	8,1	1,8	12,2	2,3
Teste F	ns	*	*	ns
CV (%)	31,78	29,40	21,22	27,28

* e ns significativo e não significativo a 5% de significância. Dados transformados por $\sqrt{(x+0,5)}$.

O cálcio (Ca) desempenha uma série de funções nas plantas e é um elemento essencial para a integridade da membrana plasmática da célula vegetal e, mais especificamente, na seletividade de transporte de íons (EPSTEIN; BLOOM, 2004). Hurchanik et al. (2003) observaram que em solos com insuficiência de Ca, as plantas apresentaram maior susceptibilidade ao ataque de nematoides.

Em estudo com *M. incognita* em abobrinha (*Cucurbita pepo* var. *melopepo*), a aplicação de Ca foi eficaz em reduzir o número de galhas, de ovos e de juvenis, independentemente da concentração usada, aumentando o rendimento da colheita (MOHAMED; YOUSSEF, 2009).

O cálcio é mais amplamente utilizado na forma de calagem, que está diretamente ligada ao pH do solo. Rocha et al. (2006) avaliaram o efeito do aumento das doses de calcário na população de *H. glycines* em raízes de soja e observaram que o número de fêmeas diminuiu conforme as doses foram aumentadas até 3,039 t ha⁻¹. Os autores concluíram que aumentar o fornecimento de cálcio impulsionou a resistência das células, diminuindo a infecção da raiz pelo nematoide. Por outro lado, Anand et al. (1995) relataram que valores mais altos de pH (6,5 e 7,5) resultaram em maiores populações de *H. glycines* do que em solo com pH 5,5. Os autores explicam que solos com valores mais altos de pH são mais favoráveis ao crescimento da soja, aumentando o desenvolvimento da raiz e, conseqüentemente, em melhores condições para o desenvolvimento de sítios de infecção. Altos valores de pH e saturação de base foram favoráveis ao aumento de *H. glycines* na cultura da soja (SILVA et al., 1997).

O pH do solo parece ser importante para a atividade dos nematoides, embora os prováveis efeitos sejam indiretos, devido à alteração da microbiota no solo e à disponibilidade de micronutrientes às plantas (ROCHA et al., 2006).

4.6 CONCLUSÕES

Independentemente da presença de *A. besseyi*, a aplicação de calcário no substrato aumentou a produção de MFPA, MFR e MFT. A densidade populacional de *A. besseyi* diminuiu na MFR e MFT com o aumento das doses de calcário.

5. REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J.C. Características de qualidade dos corretivos da acidez dos solos: características de quantidade. In: Seminário sobre corretivos agrícolas, 1985, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: Fundação Cargill, p. 91-119, 1985.
- ALMEIDA, A.M.R. et al. Doenças da soja. In: KIMATI, H. et al. Manual de fitopatologia. São Paulo: **Agronômica Ceres**, p.569-588, 2005.
- ANAND S. C., Matson D. W., Sharma S. B. Effect of soil temperature and pH on resistance of soybean to *Heterodera glycines*. **Journal of Nematology**, Riverside, v. 27, p. 478-482, 1995.
- ANDRADE, D. F. M.; LORETO, R. B.; MEYER, M. C.; FAVORETO, L.; FRANCA, P. P.; SILVA, S. A. Densidade Populacional de *Aphelenchoides besseyi* na cultura da soja, em função de doses crescentes de calcário. In: Congresso Brasileiro de Nematologia, 37. **Anais**. Caldas Novas: SBN. 2019.
- ARAÚJO, F.F. et al. Controle genético, químico e biológico de meloidoginose na cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 42, p. 220-224, 2012.
- ARIEIRA, G. O. **Diversidade de nematoides em sistemas de culturas e manejo do solo**. Dissertação de Mestrado em Agronomia, Universidade Estadual de Londrina. Londrina: Paraná. p. 98, 2012.
- BAHRY, C. A. VENSKE, E.; NARDINO, M.; FIN, S. S.; ZIMMER, P. D.; SOUZA, V. Q.; CARON, B. O. Características morfológicas e componentes de rendimento da soja submetida à adubação nitrogenada. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 6, p. 281-288, 2013.
- BARBOSA, K.A.G., R.A. GARCIA, L.C. SANTOS, R.A. TEIXEIRA, F.G. ARAÚJO, M.R. ROCHA, F.S.O. LIMA. Avaliação da adubação potássica sobre populações de *Heterodera glycines* em cultivares de soja resistente e suscetível. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 34 n. 3, p. 160-168, 2010.
- BARRETO, C. F.; SILVA, P. S.; NAVROSKI, R.; BENATI, J. A.; NAVA, G.; ANTUNES, L. E. C. Deficiência de nutrientes com efeitos no desenvolvimento de morangueiros. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 18, p. 63-71, 2017.
- BEDENDO, S. P. Doenças do arroz. In: KIMATI, H. et al. **Manual de Fitopatologia**. Volume 2: Doenças de plantas cultivadas. 3. ed. São Paulo, Cap. 10, 1997.
- BORGES, A. A.; SANDALIO, L. M. Induced resistance for plant defense. **Frontiers in Plant Science**, Lausanne, v. 6, n. 109, p. 1-2, 2015.
- BORIN, A. L. D. C.; FERREIRA, A. C. B.; SOFIATTI, V.; CARVALHO, M. C. S.; MORAES, M. C. G. Produtividade do algodoeiro adensado em segunda safra em resposta à adubação nitrogenada e potássica. **Revista Ceres**, v. 64 n. 6, p. 622-630, 2017.

BRIDGE, J.; PLOWRIGHT, R.A.; PENG, D. Nematodes parasites of rice. In: LUC, M.; SIKORA, R.A.; BRIDGE, J. (Ed.). **Plant Parasitic Nematodes in Tropical and Subtropical Agriculture**. Second edition. Wallingford: CAB International. p. 87-130, 2005.

CÂMARA, G. S. Fenologia é ferramenta auxiliar de técnicas de produção. **Visão Agrícola**, v. 3, n. 5, p. 63-66, 2006.

CARES J. E., SANTOS J. R. P., TENENTE R. C. V. Taxonomia de nematoides de sementes, bulbos e caules – parte II. **Revisão Anual de Patologia de Plantas**, v. 16, p. 39-84, 2008.

CARLOS, L.; VENTURIN, N.; MACEDO, R. L. G.; HIGASHIKAWA, E. M.; GARCIA, M. B.; FARIAS, E. S. Crescimento e nutrição mineral de mudas de pequi sob efeito da omissão de nutrientes. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, p. 13-21, 2014.

CARVALHO, D. O.; POZZA, E. A.; CASELA, C. R.; COSTA, R. V.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, C. O. Adubação nitrogenada e potássica na severidade da antracnose em dois cultivares de milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 380-387, 2013.

CHENG X, XIANG Y, XIE H, XU C-L, XIE T-F, ZHANG C, LI Y. Molecular characterization and functions of fatty acid and retinoid binding protein gene (*Ab-far-1*) in *Aphelenchoides besseyi*. **PLoS ONE**, v. 8, n. 6, p. e66011, 2013.

COELHO, A. H.; GRASSI FILHO, H.; BARBOSA, R. D.; ROMEIRO, J. T. C.; POMPERMAYER, G. V.; LOBO, T. F. Eficiência agronômica da aplicação foliar de nutrientes na cultura da soja. **Revista Agrarian**, v. 4, n.11, p. 73-78, 2011.

COLLINS, R. J.; RODRÍGUEZ-KABANA, R. Relationships of fertilizer treatments and crop sequence to populations of lesion nematode. **Journal of Nematology**, Riverside, v. 3, p. 306-307, 1971.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO, CONAB. Acompanhamento da safra brasileira: Grãos. 2020/21. **11º Levantamento**. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 20 ago. 2021.

COOLEN, W. A.; D'HERDE, C. J. **A method for the quantitative extraction of nematodes from plant tissue**. Ghent: State Agriculture Research Center, 77 p. 1972.

DATNOFF, L.E.; RODRIGUES, F.A.; SEEBOLD, K.W. Silicon and plant nutrition. In: DATNOFF, L.E.; ELMER, W.H.; HUBER, D.M. (Ed.). **Mineral Nutrition and Plant Disease**. Saint Paul: American Phytopathological Society, p. 233-246, 2007.

DEBIASI, H.; MORAES, M. T. de; FRANCHINI, J. C. et al. Monitoramento da fertilidade do solo e da ocorrência do nematoide das lesões radiculares em soja no Mato Grosso. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO**, 33., Uberlândia. Anais. Uberlândia: SBCS: UFU: ICIAG, 2011.

DEBIASI, H.; MORAES, M. T.; FRANCHINI, J. C.; DIAS, W. P.; SILVA, J. F. V.; RIBAS, L. N. Monitoramento da fertilidade do solo e da ocorrência do nematoide das lesões radiculares em soja no Mato Grosso. In: Reunião de Pesquisa de Soja, 34, 2014, Londrina. **Resumos expandidos**. Londrina: Embrapa Soja, p.141-143, 2014.

DECRAEMER, W; HUNT, D. J. Structure and classification, In: Plant nematology. CABI, p. 3-32, 2006.

DE OLIVEIRA LIMA, F. S., DOS SANTOS, G. R., NOGUEIRA, S. R., DOS SANTOS, P. R. R., CORREA, V. R. Population dynamics of the root lesion nematode, *Pratylenchus brachyurus*, in soybean fields in Tocantins State and its effect to soybean yield. **Nematropica**, Florida, v. 45, n. 2, p. 170-177, 2015.

DERKS W., CREASY L. L. Influence of fosetyl-AI on phytoalexin accumulation in the **Plasmopara viticola** grapevine interaction. **Physiol. Mol. Plant Path.**, v. 3, p. 203-23, 1989.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; MARINI, P. M.; FONTANA, L. F.; ROLDI, M.; SILVA, T. R. B. Effect of *Azospirillum brasilense*, Stimulate® and potassium phosphite to control *Pratylenchus brachyurus* in soybean and maize. **Nematropica**, Flórida, v. 42, n. 1, p.170-175, 2012.

DIAS, W.P. et al. Nematoides. In: Almeida, A.M.R.; Seixas, C.D.S.(Ed.) Soja: doenças radiculares e de hastes e inter-relações como manejo do solo e da cultura. **Embrapa Soja**: Londrina, p. 173-206, 2010.

DIAS, J. P.; DIAS, W.P.; LORETO, R. B.; FAVORETO, L. MOARES, L. A. C.; MOREIRA, A. Effects of nutrient omission on the reproduction of *Meloidogyne javanica* in soybean. **Journal of Plant Nutrition**, v. 44, p. 1-10, 2021.

EPSTEIN E., BLOOM A. Mineral Nutrition of Plants. **Sunderland: Sinauer Associates**. p. 380, 2004.

ERNANI, P. R. **Química do solo e disponibilidade de nutrientes**. Lages, 230 p. 2008.

FANCELLI A. L. Influência da nutrição na ocorrência de doenças de plantas. **Informe Agrônômico**, v. 122, p. 23-24., 2008.

FARIAS, J. R. B.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da Soja**. Londrina, PR: Embrapa soja, 9 p. (Circular técnica, 48), 2007.

FAVORETO, L.; SANTOS, J.M.; CALZAVARA, S.; LARA, L, A. Estudo fitossanitário, multiplicação e taxonomia de nematoides encontrados em sementes de gramíneas forrageiras no Brasil. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 35, p. 20-35, 2011.

FAVORETO L., FALEIRO V. O., FREITAS M. A., BRAUWERS L. R., GALBIERI R., HOMIAK J. A., LOPES-CAITAR V. R., MARCELINO-GUIMARÃES F. C., MEYER M. C. First report of *Aphelenchoides besseyi* infecting the aerial part of cotton plants in Brazil. **Plant Disease**, v. 102, 2018.

FAVORETO, L.; MEYER, M. C. **O nematoide da haste verde**. Embrapa Soja-Circular Técnica (INFOTECA-E), 2019.

FEHR, W.R.; CAVINES S, C.E. Stages of soybean development. Ames: **State University of Science and Technology**, Special Report, 80. 11 p. 1977.

FERRAZ, S.; FREITAS, L. G. de; LOPES, E. A.; DIAS-ARIEIRA, C. R. **Manejo Sustentável de Fitonematoides**. 1. Ed. Viçosa: UFV, 306 p., 2010.

FERREIRA, P.A.; DOS SANTOS NEVES, W.; LOPES E. A.; FERRAZ, S.; FREITAS, L.G.; Efeito da fertilização e da nutrição de plantas sobre doenças causadas por nematoides. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 6, 2012.

FREITAS, M.C.M. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola. **Enciclopédia biosfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 12, 2011.

FREITAS, L. G.; OLIVEIRA, R. D. L.; FERRAZ, S. **Introdução a Nematologia**. Viçosa: UFV, 92 p., 2014.

FORTUNER, R.; WILLIAMS, K.J.O. Review of the literature on *Aphelenchoides besseyi* Christie, 1942, the nematode causing "white tip" disease in rice. **Helminthological Abstracts**, v. 44, p. 1- 40, 1975.

GENARI, A. D., PALIN, D., TAKAHARA, H. L., FRANCISCO, P. J., LOPES, D. A. Adubação fosfatada em soja: Potencialidades de diferentes fontes. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 5, p. 1-9, 2021.

GILIOLI J. L., PRINCE P.C., GILIOLI B.L, GILIOLI A. L. **Quais são as causas da soja louca?** In: 29ª Reunião de Pesquisa da Soja da Região Central do Brasil. Campo Grande, MS. Currículos ... Londrina: Embrapa Soja. p 61. Embrapa Soja. Documentos 287, 2007.

GRAHAM, R.D. Effects of nutrient stress on susceptibility of plants to disease with particular reference to the trace elements. **Advances in Botanical Research**, v. 10, p. 221-276, 1983.

GRAHAM, R. D.; WEBB, M. J. Micronutrients and disease resistance and tolerance in plants. In: MORTVEDT, J. J.; COX, F. R.; SHUMAN, L. M.; WELCH, R. M. (Eds.). **Micronutrients in Agriculture**. Madison: Soil Science Society of America, p.329-370, 1991.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: **Embrapa Soja**, 70 p.: il. – (Documentos / Embrapa Soja), 2014.

HUBER, D. M.; ARNY, D. C. Interactions of Potassium with Plant Disease 1. **Potassium in Agriculture**, p. 467- 488, 1985.

HUNT, D. J. Aphelenchida, Longidoridae and Trichodoridae: their systematic and bionomics. **CAB International**, Wallingford, UK, 352 p., 1993.

HURCHANIK, D., SCHMITT, D. P., HUE, N. V., SIPES, B. S. Relationship of *Meloidogyne konaensis* population densities to nutritional status of coffee roots and leaves. **Nematropica**, Florida, v. 33, p. 55-64, 2003.

JENKINS, W. R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**, v. 48, p. 692, 1964.

JESUS, D. S.; CARES, J. E. Gênero *Aphelenchoides*. In: OLIVEIRA, C.M.G.; SANTOS, M.A.; CASTRO, L.H.S. (Ed.). **Diagnose de Fitonematoides**. Millennium. p. 99-118, 2016.

KEPENEKCI I. El nematodo de la punta blanca del arroz (*Aphelenchoides besseyi*) em zonas de cultivo de arroz de Turquia. **Nematropica**, Florida, v. 43, p. 181-189, 2013.

MAIA, J. T. L.; BONFIM, F. P. G.; GUANABENS, R. E. M.; TRENTIN, R.; MARTINEZ, H. E. P.; PEREIRA, P. R. G.; FONTES, P. C. R. Omissão de nutrientes em plantas de pinhão-mansão cultivadas em solução nutritiva. **Ceres**, Viçosa, v. 61, p. 723-731, 2014.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo, Agronômica Ceres, 251 p., 1980.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas; princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 319 p., 1997.

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 631 p., 2006.

MARSCHNER, H.; ÇAKMAK, I. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. II. Evidence for impaired shoot control of phosphorus uptake and translocation under zinc deficiency. **Physiologia Plantarum**, v. 68, n. 3, p. 491-496, 1986.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3. ed. London: Academic Press, 651 p., 2012.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic, 1986. 390p., 1986.

MASCARENHAS, H.A.A; TANAKA, R.T; GALLO, P. B.; PEREIRA, J.C.V.N.A; AMBROSANO, G.M.B.; CARMELLO, Q.A.C. Efeito da calagem sobre a produtividade de grãos, óleo e proteína em cultivares precoces de soja. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 3, n. 1, p. 164-172, 1996.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Deficiência e toxicidade visuais de nutrientes em soja. **Nucleus**, v. 10, n. 2, p. 281-306, 2013.

MASCARENHAS, H. A. A. et al. Micronutrientes em soja no estado de São Paulo. **Nucleus**, v. 11, n. 1, p. 323-342, 2014.

MATHAN, K. K. Direct effect of magnesium, potassium and calcium on yield, protein content and Mg uptake by finger millet (*Eleusine caracana*) in acid soil. **Indian Journal of Agronomy**, New Delhi, v. 40, n. 4, p. 609-612. 1995.

MENGEL, K., AND E. A. KIRKBY. Potassium in crop production. **Advances in Agronomy**, v. 33, p. 59–110, 1980.

MEYER, M. C., GILIOLI, J. L., PRINCE, P. C. **Efeito de doses de herbicidas e sistemas semeadura na incidência de retenção foliar e de pressa verde, em cultivares de soja, no Maranhão e no Tocantins**. In: 30ª Reunião de Pesquisa da Soja da Região Central do Brasil. Rio Verde, GO. Londrina: Embrapa Soja. pp. 133–136. Embrapa Soja. Documentos, 304, 2008.

MEYER, M. C., HENNING, A. A., ALMEIDA, A. M. R., GODOY, C. V., SEIXAS, C. D. S., YORINORI, J. T., FERREIRA, L. P., SOARES, R. M., DIAS, W. P. **Manejo integrado de doenças da soja em regiões climáticas**. Em: 1 ° Simpósio Sobre Manejo de Pragas. Belém, PA. Anais ... Belém: Embrapa Amazônia Oriental. 1 CD-ROM, 2009.

MEYER, M. C.; ALMEIDA, A. M. R.; GAZZIERO, D. L. P.; LIMA, D. **Soja Louca II: Um problema de causa desconhecida**. Folder n° 7, 2010.

MEYER, M. C.; HIROSE, E. D. Soja louca II: características, possíveis causas, regiões mais atingidas e impactos reais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA 6, 2012, Cuiabá. Soja: integração nacional e desenvolvimento sustentável, **Anais**. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

MEYER, M. C.; FAVORETO, L.; KLEPKER, D.; MARCELINO-GUIMARÃES, F. C. Soybean green stem and foliar retention syndrome caused by *Aphelenchoides besseyi*. **Tropical Plant Pathology**, Fortaleza, v. 42, p. 403-409, 2017.

MEYER, M. C; FAVORETO L. Desvendando a Soja Louca II. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA. 36. Caldas Novas. **Anais...** 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1110585/1/FavoretoAnaisDesvendando36CBN.pdf> Acesso em: 02 de Ago 2020.

MIAMOTO, A.; SILVA, M. T. R.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; PUERARI, H. H. Alternative products for *Pratylenchus brachyurus* and *Meloidogyne javanica* management in soya bean plants. **Journal of Phytopathology**, Göttingen, v. 165, n. 10, p. 635-640, 2017.

MOHAMED, M. M., YOUSSEF, M. M. A. Efficacy of calcium carbide for managing *Meloidogyne incognita* infesting squash in Egypt. **International Journal Nematology**, v. 19., p. 229-231, 2009.

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; VILLARINO, I.; NOGUEIRA, T. A. R. Differential response of soybean genotypes to two lime rates. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 63, p. 1-11, 2017.

MOREIRA, A.; MORAES, L. A. C.; MORETTI, L. G.; AQUINO, G. S. Phosphorus, potassium and sulfur Interactions in soybean plants on a Typic Hapludox. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 49, p. 405-415, 2018.

OKA Y., TKACHI N., MOR M. Phosphite inhibits development of the nematode *Heterodera avenae* and *Meloidogyne marylandi* in cereals. **Nematology**, Leiden, v. 97, p. 396-404, 2007.

PAIVA, B. M; ALVES, R. M.; HELENO, N. M. Aspectos socioeconômicos da soja. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 27, n. 230, p. 7-14, 2006.

PRADO R. M.; FRANCO, C. F.; PUGA, A. P. Deficiências de macronutrientes em plantas de soja cv. BRSMG 68 (Vencedora) cultivada em solução nutritiva. **Comunicata Scientiae**, v. 1, n. 2, p. 114-119, 2010.

PINHEIRO, J. B.; POZZA, E. A.; POZZA, A. A. A.; MOREIRA, A. S.; ALVES, M. C.; CAMPOS, V. P. Influência da nutrição mineral na distribuição espacial do nematoide de cisto da soja. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 32, p. 270-278, 2008.

PINHEIRO J. B., POZZA E. A., POZZA A. A. A., MOREIRA A. S., CAMPOS V. P. Estudo da influência do potássio e do cálcio na reprodução do nematoide do cisto da soja. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 33, p. 17-27, 2009.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 111 p., 2000.

QUAGGIO, J. A.; GALLO, P.B.; FURLANI, A. M. C.; MASCARENHAS, H. A. A. Isoquantas de produtividade de soja e sorgo para níveis de calagem e molibdênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 337-344, 1998.

RAIJ, B. van; CAMRGO, A.P; MASCARENHAS, H. A. A.; HIROCE, R.; FEITOSA, C.T.; NERY, C.; LAUN, C.R.P. Efeito de níveis de calagem na produção de soja em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 1, p. 28-31, 1977.

ROCHA M. R., CARVALHO I., CORRÊA G. C., CATTINI G. P., PAOLINI G. Efeito de doses crescentes de calcário sobre a população de *Heterodera glycines* em soja. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 36, p. 89-94, 2006.

RODRIGHERO, M. B.; BARTH, G.; CAIRES, E. F. Aplicação superficial de calcário com diferentes teores de magnésio e granulometrias em sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 39, n. 6, p. 1723- 1736, 2015.

RODRÍGUEZ-KÁBANA R., KING P. S., POPE M. H. Combinations of anhydrous ammonia and ethylene dibromide for control of nematodes parasitic on soybeans. **Nematropica**, Florida, n. 11, p. 27-41, 1981.

RODRÍGUEZ-KÁBANA, R. Organic and inorganic nitrogen amendments to soil as nematode suppressants. **Journal of Nematology**, Riverside, v. 18, n. 2, p. 129- 135, 1986.

- ROSSETTO, R. SANTIGAGO, A. D. **Nematoides**. In: *Árvore do conhecimento: Cana-de-açúcar*. Jul. 2013- Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-açucar/arvore/CONTAG01_54_711200516718.html>. Acessado em: 20 jul. 2021.
- SANTOS, G.A.; KORNDÖRFER, G.H., PEREIRA, H.S. Methods of adding micronutrients to a NPK formulation and maize development. **Journal of Plant Nutrition**, v. 39, p. 1266-1282, 2015.
- SEDIYAMA, T. **Produtividade da Soja**. Londrina, PR, Mecenas ed., 310 p., 2016.
- SILVA, A. D.; MENEZES, C. C. E.; MENEZES, J. F. S.; NASCIMENTO, W. P. Fontes e doses de magnésio na cultura do milho. **Global Science and Technology**, v. 9, n. 3, p. 20-30, 2017.
- SFREDO, G.J., BORKERT, C.M. Deficiência e toxicidade de nutrientes em plantas de soja, Documentos nº 231. Londrina, PR, **Embrapa Soja**, 44 p., 2004.
- SFREDO, G.J. Soja no Brasil: calagem, adubação e nutrição mineral, Documentos 305. Londrina, PR, **Embrapa Soja**, 148 p., 2008.
- SILVA J. F. V., GARCIA A., PEREIRA J. E., HIROMOTO D. Nematóide de cisto da soja (*Heterodera glycines* Ichinohe). Londrina: Embrapa Soja, **Documentos**, p. 104, 1997.
- SOCIDADE BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO. Núcleo Estadual Paraná. **Manual de adubação e calagem para o estado do Paraná**. Curitiba: SBCS/NEPAR, 482 p., 2017.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 858 p. 2017.
- TONINATO, B. O.; SOUZA, D. H. G.; PONTALTI, P. R.; LOPES, A. P. M.; DIASARIEIRA, C. R. *Meloidogyne javanica* control in lettuce with fertilizers applied isolated or associated with biological product. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 4, p. 384- 389, 2019.
- WANG, E. L.; BERGESON, G. B. Biochemical changes in root exsudate and xylem SAP of tomato plants infected with *Meloidogyne incognita*. **Journal of Nematology**, Riverside, v. 6, p. 194-202, 1974.
- ZAMBOLIM, L. Estratégias de manejo integrado de doenças. **Workshop a interface soloraiz (rizosfera) e relações com a disponibilidade de nutrientes, a nutrição e as doenças das plantas**. Piracicaba: Potafos, 40 p. 1998.
- ZAMBOLIM, L.; COSTA, H.; VALE, F. X. R. Efeito da nutrição mineral sobre doenças de plantas causadas por patógenos de solo. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo integrado fitossanidade: cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa, MG: UFV/DFP. 2001. p. 347-408, 2001.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA J. A. Mecanismos gerais de atuação dos nutrientes sobre a severidade de doenças de plantas. In: ZAMBOLIM, L.; VENTURA J. A.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. (Ed. Independente). **Efeito da Nutrição Mineral no controle de plantas**. 322p., 2012.

ZANÃO JÚNIOR, L. A. Importância e função dos nutrientes no crescimento e desenvolvimento de planta. In: ZAMBOLIM, L.; VENTURA J. A.; ZANÃO JÚNIOR, L. A.; (Ed. Independete). **Efeito da Nutrição Mineral no controle de plantas**. 322p., 2012.