

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

IMPACTO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DAS CULTURAS NA  
DISTRIBUIÇÃO DE NEMATÓIDES ENTOMOPATOGÊNICOS

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

NÁDIA MARIA OLIVEIRA SOUZA

MONTE CARMELO  
MINAS GERAIS – BRASIL

2025

NÁDIA MARIA OLIVEIRA SOUZA

IMPACTO DOS ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E DAS CULTURAS NA  
DISTRIBUIÇÃO DE NEMATÓIDES ENTOMOPATOGÊNICOS

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geospaciais – Mestrado, área de concentração em Agricultura e Informações Geospaciais, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vanessa Andaló Mendes de Carvalho

MONTE CARMELO  
MINAS GERAIS – BRASIL

2025

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

S729  
2025

Souza, Nádía Maria Oliveira, 1998-  
Impacto dos atributos químicos do solo e das culturas na  
distribuição de nematoides entomopatogênicos [recurso  
eletrônico] / Nádía Maria Oliveira Souza. - 2025.

Orientadora: Vanessa Andaló Mendes de Carvalho .  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais.

Modo de acesso: Internet.

Disponível em: <http://doi.org/10.14393/ufu.di.2025.314>

Inclui bibliografia.

Inclui ilustrações.

1. Agronomia. I. , Vanessa Andaló Mendes de Carvalho,1977-,  
(Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Pós-graduação  
em Agricultura e Informações Geoespaciais. III. Título.

CDU: 631

Bibliotecários responsáveis pela estrutura de acordo com o AACR2:

Gizele Cristine Nunes do Couto - CRB6/2091

Nelson Marcos Ferreira - CRB6/3074



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
 Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações  
 Geoespaciais  
 Rodovia LMG 746, Km 01, s/nº, Bloco 1AMC, Sala 1A202, Monte Carmelo-MG, CEP 38.500-000  
 Telefone: (34) 3810-1033 - ppgaig@iciag.ufu.br



### ATA DE DEFESA - PÓS-GRADUAÇÃO

Programa de Pós-Graduação em:	Agricultura e Informações Geoespaciais				
Defesa de:	Dissertação de Mestrado Acadêmico				
Data:	12/05/2025	Hora de início:	09h00	Hora de encerramento:	10h30min
Matrícula do Discente:	32312AIG011				
Nome do Discente:	Nádia Maria Oliveira Souza				
Título do Trabalho:	Impacto dos atributos químicos do solo e das culturas na distribuição de nematoides entomopatogênicos				
Área de concentração:	Informações geoespaciais e tecnologias aplicadas à produção agrícola				
Linha de pesquisa:	Sistemas Integrados de Produção Vegetal				
Projeto de Pesquisa:	Patologia de insetos e controle microbiano e suas possíveis associações com os demais métodos de controle utilizados no manejo integrado de pragas				

Reuniu-se na sala virtual, a banca examinadora, designada pelo Colegiado do Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais, assim composta: Profa Dra. Vanessa Andaló Mendes de Carvalho (Presidente - Universidade Federal de Uberlândia, Campus de Monte Carmelo), Profa. Dra. Luziane Ribeiro Indjai (Universidade Federal de Uberlândia - UFU) e Profa. Dra. Franscinely Aparecida de Assis (Centro Universitário de Goiatuba - UniCerrado). Iniciando os trabalhos o presidente da mesa, Dra. Vanessa Andaló Mendes de Carvalho, apresentou a Comissão Examinadora e o candidato, agradeceu a presença do público, e concedeu ao discente a palavra para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação do discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do Programa.

A seguir o senhor presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos examinadores, que passaram a arguir o candidato. Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando a candidata:

Aprovada

Esta defesa faz parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

O competente diploma será expedido após cumprimento dos demais requisitos, conforme as normas do Programa, a legislação pertinente e a regulamentação interna da UFU.

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Vanessa Andalo Mendes de Carvalho, Professor(a) do Magistério Superior**, em 12/05/2025, às 10:31, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Franscinely Aparecida de Assis, Usuário Externo**, em 12/05/2025, às 10:53, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Luziane Ribeiro Indjai, Professor(a) do Magistério Superior**, em 28/05/2025, às 14:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://www.sei.ufu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6294696** e o código CRC **65D3C201**.

---

*Dedico este trabalho aos meus pais,  
que desde a infância me incentivam e jamais  
me deixaram desanimar ou desistir dos meus  
sonhos, esta conquista é fruto do apoio e do  
carinho incondicional de vocês.*

## AGRADECIMENTOS

Dedico esta dissertação a Deus, que me sustentou por meio de inúmeros desafios, permitindo-me alcançar este importante marco.

Agradeço profundamente aos meus pais, cujo incentivo constante e esforço incansável sempre me impulsionaram a seguir meus sonhos.

Minha sincera gratidão à professora Vanessa Andaló, por sua orientação, conhecimento, atenção e carinho ao longo deste trabalho.

Agradeço ao técnico do LABEN, Dr. Lucas Silva por todo apoio, paciência e orientação nos procedimentos laboratoriais.

Reconheço também a contribuição de todos os colegas que, de alguma forma, colaboraram para esta conquista.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais (PPGAIG) e à Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo, pela infraestrutura e pelos saberes que enriqueceram minha trajetória.

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

Por fim, agradeço ao Sr. Wanderley Mamossi pela permissão de acesso à fazenda, e ao Sr. Bruno na colaboração na coleta de dados, que foi fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

## **BIOGRAFIA**

Nádia Maria Oliveira Souza filha de Rosemeire Aparecida de Souza e Antônio de Pádua de Souza, e irmã de Alexandro Oliveira Souza. Formou-se em Agronomia em 2023 pela Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo. Ministrou minicursos e foi monitora da disciplina de Química Geral e Analítica entre 2017 e 2018. Atuou como professora de Biologia entre 2018 e 2020 no projeto AFIN - PRÉ ENEM - Monte Carmelo. Integrou a empresa júnior CONCAMPO como diretora de Marketing por 6 meses em 2019. Também participou ativamente de diversos grupos de pesquisa durante a graduação, incluindo RENAGRI, CINCI, GEMATO e GEMIP. Em 2021, realizou estágio na empresa Sol.Agro, com foco em consultoria agrícola, acompanhando lavouras cafeeiras. Possui formação técnica e conhecimento prático em classificação, torra e degustação de cafés. Entre 2023 e 2024, atuou como assistente de pesquisa no Centro de Pesquisa Cafeeira Mário Jordão. Em 2024, ingressou no Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Informações Geoespaciais da Universidade Federal de Uberlândia – Campus Monte Carmelo, onde desenvolveu dissertação intitulada como “Impacto dos atributos do solo e das culturas na distribuição de nematoides entomopatogênicos”.

“Não quero ter a terrível limitação de quem vive apenas do que é passível de fazer sentido. Eu não: quero é uma verdade inventada.”

Clarice Lispector

## RESUMO

SOUZA, NÁDIA MARIA OLIVEIRA. **Impacto dos atributos químicos do solo e das culturas na distribuição de nematoides entomopatogênicos.** 2025. Dissertação (Mestrado em Agricultura e Informações Geoespaciais) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2025

A presença de nematoides entomopatogênicos (NEPs) no solo está diretamente relacionada às condições edáficas e ao manejo agrícola, influenciando sua distribuição e persistência. Neste estudo exploratório, objetivou-se mapear a distribuição natural de NEPs em áreas com cultivos distintos e investigar possíveis correlações entre sua presença, os tipos de plantas cultivadas nas regiões amostradas e as condições químicas do solo. Para isso, avaliou-se a ocorrência de NEPs em 82 pontos de amostragem coletados entre janeiro e maio de 2024 em cinco cultivos (atemoia, pitaya, abacateiro, maracujazeiro e cafeeiro) na região de Monte Carmelo, MG, em Latossolo Vermelho Distrófico. As coletas descartaram a camada superficial (0–5 cm) e visaram 5–15 cm de profundidade, com registro das coordenadas por GPS. O isolamento envolveu bioensaio com seis larvas de *Tenebrio molitor* L. em amostras de solo, desinfecção em hipoclorito de sódio a 0,1 %, uso de armadilhas de White para obtenção de juvenis infectantes confirmados pelo postulado de Koch e posterior incubação em câmara B.O.D. a  $16 \pm 2$  °C. Para avaliação espacial, empregou-se ArcGIS Desktop 10.0 com extensão Spatial Analyst, gerando mapas de situação (Kernel Density), superfícies contínuas de atributos químicos do solo (Top to Raster e isolinhas) e mapas de correlação via sobreposição de camadas. Os resultados indicaram variação na ocorrência de NEPs entre as culturas e diferentes atributos edáficos. A análise geoespacial permitiu inferir padrões de distribuição dos NEPs em função das características químicas do solo, eEntretanto, nenhuma causalidade específica foi atribuída, dado o caráter preliminar do estudo. Os achados contribuíram para a compreensão da dinâmica espacial dos NEPs em relação à química do solo e ao tipo de cultura, oferecendo subsídios para investigações futuras mais detalhadas.

**Palavras-chave:** Atributos edáficos; Análise geoespacial; Heterorhabditidae; Manejo Integrado de Pragas; Steinernematidae.

## ABSTRACT

SOUZA, NÁDIA MARIA OLIVEIRA. **Impact of soil chemical attributes and crops on the distribution of entomopathogenic nematodes.** 2025. Master's Dissertation (Master's in Agriculture and Geospatial Information) – Federal University of Uberlândia, Monte Carmelo, 2025.

The presence of entomopathogenic nematodes (EPNs) in the soil is directly related to edaphic conditions and agricultural management, influencing their distribution and persistence. This exploratory study aimed to map the natural distribution of EPNs in areas with different crops and investigate possible correlations between their presence, the types of plants cultivated in the sampled regions, and the soil chemical properties. To this end, the occurrence of EPNs was assessed at 82 sampling points collected between January and May 2024 across five crops (atemoya, pitahaya (dragon fruit), avocado, passion fruit, and coffee) in the Monte Carmelo region, Minas Gerais, in a Dystrophic Red Latossol. Samples discarded the superficial layer (0–5 cm) and targeted a depth of 5–15 cm, with coordinates recorded via GPS. Isolation involved bioassays using six *Tenebrio molitor* L. larvae in soil samples, disinfection with 0.1% sodium hypochlorite, the use of White traps to obtain infective juveniles confirmed by Koch's postulates, and subsequent incubation in a B.O.D. chamber at  $16 \pm 2$  °C. For spatial evaluation, ArcGIS Desktop 10.0 with the Spatial Analyst extension was used to generate situation maps (Kernel Density), continuous surfaces of soil chemical attributes (Top to Raster and isolines), and correlation maps through layer overlay. Results indicated variation in EPN occurrence among crops and different edaphic attributes. Geospatial analysis allowed inference of EPN distribution patterns based on soil chemical characteristics; however, no specific causality was attributed given the preliminary nature of the study. The findings contribute to understanding the spatial dynamics of EPNs in relation to soil chemistry and crop type, providing a basis for future, more detailed investigations.

**Keyword:** Edaphic attributes; Geospatial analysis; Heterorhabditidae; Integrated Pest Management; Steinernematidae.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	10
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	12
2.1. NEMATOIDES ENTOMOPATOGÊNICOS .....	12
2.2. FATORES EDÁFICOS E SUA RELAÇÃO COM NEMATOIDES ENTOMOPATOGÊNICOS.....	13
2.3. MAPAS TEMÁTICOS .....	15
3. MATERIAL E MÉTODOS .....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	23
CONCLUSÃO	
6. REFERÊNCIAS .....	34

## 1. INTRODUÇÃO

A ampla extensão das áreas destinadas à produção agrícola e a crescente demanda por alimentos têm impulsionado o uso intensivo de produtos fitossanitários no controle de pragas, doenças e plantas invasoras. O consumo de agrotóxicos no Brasil aponta que o país utiliza anualmente cerca de 130 mil toneladas de ingredientes ativos, o que representa um aumento de 700% nos últimos 40 anos, enquanto a área agrícola cresceu 78% no mesmo período (EMBRAPA, 2021). Embora essa prática desempenhe papel fundamental no aumento da produtividade agrícola, seu uso intensivo tem gerado preocupações sobre as externalidades negativas associadas.

Segundo o Ministério da Saúde (2016), entre os principais impactos, destaca-se o efeito desses produtos na saúde humana. Devido à sua toxicidade inerente, os defensivos agrícolas podem causar danos cuja gravidade varia conforme o princípio ativo, a quantidade absorvida e a forma de exposição. Observa-se também os problemas ambientais e ecológicos, decorrentes da contaminação do solo, água e alimentos além da baixa seletividade apresentada por muitos desses produtos. Esse é um dos fatores mais impactantes, pois reduz a população não só dos patógenos, mas também dos organismos e microrganismos benéficos (MORANDI; BETTIOL, 2009). A observação de tais efeitos tem direcionado os pesquisadores a buscar alternativas para reduzir problemas fitossanitários (BETTIOL et al., 2005).

Uma dessas alternativas é o uso de nematoides entomopatogênicos (NEPs), organismos do solo eficazes no controle biológico de pragas, especialmente aquelas com fase de vida no solo (CAMPOS-HERRERA, 2015). Os gêneros *Heterorhabditis* e *Steinernema*, associados às bactérias simbiotas *Photorhabdus* e *Xenorhabdus*, respectivamente, são os mais estudados (FONTES; VALADARES-INGLIS, 2020). Esses nematoides infectam insetos hospedeiros, liberando bactérias que causam septicemia e morte entre 24 e 48 horas. Após a morte do inseto, alimentam-se das bactérias e do conteúdo do hospedeiro, reiniciando o ciclo (CHATSON; GOODRIH-BLAIR, 2010).

A fase de juvenis infectantes (JIs) desses nematoides infecta e mata insetos em dezenas de ordens e famílias, e muitas espécies já fazem parte do Manejo Integrado de Pragas (MIP). Estudos com *Dysmicoccus texensis* (Hemiptera: Pseudococcidae) (ALVES et al., 2009), *Euschistus heros* (Hemiptera: Pentatomidae) (BORGES et al.,

2023), *Mahanarva fimbriolata* (Hemiptera: Cercopidae) (LEITE et al., 2005) e *Quesada gigas* (Hemiptera: Cicadidae) (SILVA, 2011) comprovam sua eficiência.

Em 2022, foi lançado no mercado brasileiro o primeiro bioinseticida formulado com nematoide entomopatogênico da espécie *Steinernema carpocapsae* (Rhabditida: Steinernematidae) indicado para controle do bicudo da cana-de-açúcar *Sphenophorus levis* (Coleoptera: Curculionidae). Essa introdução representou uma inovação para agricultura brasileira, uma vez que, historicamente, os nematoides eram amplamente reconhecidos como pragas de solo (KOPPERT, 2022).

A principal dificuldade na aplicação de NEPs está na adaptação de produtos às condições de campo, onde sua alta virulência observada em laboratório, nem sempre se traduz em eficácia. O sucesso comercial depende de testes de campo que comprovem sua eficiência, além de fatores como custo, armazenamento, distribuição, manuseio e compatibilidade com práticas agrícolas. Barreiras em um ou mais desses aspectos historicamente têm limitado o desenvolvimento de produtos comerciais para determinadas culturas (GEORGIS, 2002).

Grande parte do conhecimento sobre ecologia de NEPs baseia-se na extrapolação de dados obtidos em laboratório. Estudos indicam que a distribuição natural dos NEPs em agroecossistemas pode estar relacionada à textura do solo, temperatura e culturas presentes (WILSON; GAUGLER, 2004).

Assim, a distribuição natural dos NEPs em diferentes ambientes agrícolas é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de controle biológico. Segundo Fontes e Valadares-Inglis (2020), compreender a presença e a dinâmica dos organismos permite aprimorar seu uso no manejo integrado de pragas, contribuindo para sustentabilidade dos sistemas agrícolas.

Diante dos fatos expostos, o presente estudo tem como objetivo mapear a distribuição natural de nematoides entomopatogênicos em áreas com cultivos distintos e investigar possíveis correlações entre sua presença, os tipos de plantas cultivadas nas regiões amostradas e as condições químicas do solo. Com isso, busca-se fornecer subsídios para o aprimoramento das estratégias de controle biológico de pragas no setor agrícola.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. Nematoides entomopatogênicos

Nematoides são vermes cilíndricos, não segmentados, que pertencem ao Filo Nematoda e estão entre os organismos mais numerosos do planeta (HODDA, M, 2022). Estes apresentam ampla diversidade trófica, englobando fitoparasitas, entomopatogênicos, bacteriófagos, micófagos e saprófagos, os quais desempenham diferentes funções ecológicas nos sistemas agrícolas e no solo (RITZINGER; FANCELLI; RITZINGER, 2020).

Os nematoides entomopatogênicos têm a capacidade de infectar e causar patogenicidade em insetos (ALMENARA et al., 2012). Os gêneros mais conhecidos associados a bactérias são *Heterorhabditis* (Rhabditida: Heterorhabditidae) e *Steinernema* (Rhabditida: Steinernematidae) (KAMITANI, 2010). O interesse nessas famílias ocorre devido a viabilidade para produção comercial e especificidade na infecção de determinados insetos, garantindo segurança ambiental (NEGRISOLI JUNIOR, 2015).

O ciclo de vida dos gêneros *Heterorhabditis* e *Steinernema* inicia-se com um juvenil infectante (JI) que contém bactérias entomopatogênicas simbióticas em seu intestino. Nos membros da família Steinernematidae, essas bactérias (do gênero *Xenorhabdus*) são armazenadas em uma vesícula especializada, que as protege até serem liberadas na hemocele do hospedeiro adequado (BOEMARE, 2002). Já nos nematoides da família Heterorhabditidae, as bactérias simbióticas (do gênero *Photorhabdus*) não são mantidas em vesícula, mas localizam-se livremente na porção anterior da luz intestinal do juvenil infectante, estando em contato direto com o intestino até a liberação no hospedeiro (BOEMARE, 2002; GREWAL et al., 2005).

Os nematoides entomopatogênicos atuam em associação simbiótica com bactérias que auxiliam na morte do inseto hospedeiro. As bactérias dos gêneros *Xenorhabdus* (associadas a *Steinernema*) e *Photorhabdus* (associadas a *Heterorhabditis*) são liberadas na hemocele do hospedeiro após a penetração do nematoide, onde se multiplicam rapidamente, causando septicemia e levando-o à morte em um período de 24 a 48 horas (CHEN et al., 2023).

Após a morte do hospedeiro, as bactérias continuam a se multiplicar, enquanto os nematoides se alimentam tanto dos tecidos do hospedeiro quanto das bactérias.

Quando os recursos alimentares se esgotam, os nematoides são induzidos à forma de juvenil infectante (JI) e emergem do cadáver do hospedeiro em busca de um novo hospedeiro (CHEN et al., 2023).

A eficácia dos nematoides entomopatogênicos como agentes de controle biológico está condicionada por múltiplos fatores ambientais entre os quais os atributos edáficos se destacam por influenciarem diretamente sua sobrevivência, dispersão e infectividade. Portanto, a análise dos fatores edáficos e sua relação com a dinâmica populacional desses nematoides é crucial para a compreensão e otimização de sua atuação nos agroecossistemas (DEVI, 2024).

## 2.2. Fatores edáficos e sua relação com nematoides entomopatogênicos

A estrutura do solo refere-se à organização das partículas minerais em agregados de diferentes tamanhos e formas, com níveis variados de porosidade, influenciada pela matéria orgânica, atividade biológica e forças químicas (WANG; ZHANG, 2024). Essa estrutura afeta diretamente o fluxo de água, ar, nutrientes e a atividade de organismos, sendo fundamental para a infiltração e retenção hídrica (HARUNA, 2020; STILL et al., 2023).

Por outro lado, fatores como clima, cobertura vegetal, ciclagem de matéria orgânica e práticas de manejo – especialmente preparo do solo e uso de culturas de cobertura – condicionam a formação e estabilidade dos agregados (AGROSYSTEMS REVIEW, 2020; HARUNA, 2020).

A textura e a estrutura do solo desempenham papel relevante na sobrevivência e na patogenicidade dos nematoides (FERREIRA et al., 2020). A textura do solo, que se refere à proporção relativa das frações minerais areia, silte e argila, influencia diretamente as propriedades físicas do solo, como porosidade e tortuosidade — esta última entendida como a complexidade dos caminhos internos pelos quais os nematoides devem se deslocar. Solos com partículas mais finas apresentam poros menores e maior tortuosidade, o que pode limitar a mobilidade desses organismos (MARTINS; ALMEIDA, 2018).

Além disso, a interação entre a espécie de nematoide, a textura do solo e o teor de umidade é determinante para a capacidade do nematoide de localizar e infectar seu hospedeiro: solos com textura arenosa e teor de umidade em torno de 15% potencializam a mobilidade e infectividade de *Steinernema*, enquanto solos argilosos e

com excesso de água restringem esse deslocamento, reduzindo significativamente a eficiência infecciosa (TA-OUN et al., 2022; FRANKENSTEIN et al., 2024).

A umidade do solo, representada pela água retida nos espaços intersticiais, constitui um fator crítico para o desempenho de nematoides entomopatogênicos. Esses organismos utilizam a tensão superficial do filme de água presente entre as partículas do solo para se locomover, sendo essa movimentação favorecida pela morfologia alongada e cilíndrica de seu corpo. A eficiência desse deslocamento depende de variáveis como gradientes químicos, temperatura, textura, estrutura e umidade do solo, além do tamanho corporal do nematoide (KLINGER; HAUKELAND, 2006).

Já a cobertura vegetal constitui outro fator determinante na composição e na atividade da microbiota do solo. As plantas liberam compostos orgânicos por meio das raízes, conhecidos como exsudatos, que atuam como fonte de carbono e energia para diversos microrganismos (SILVA, 2021).

Solos com elevados teores de matéria orgânica podem exercer tanto efeitos negativos quanto positivos sobre as populações de nematoides. Por um lado, podem reduzir sua eficácia ao favorecer a presença de predadores e patógenos naturais, além de dificultar a detecção de sinais químicos emitidos pelos hospedeiros (TORR et al., 2004). Entretanto, podem propiciar o aumento populacional desses organismos ao contribuírem para maior disponibilidade de hospedeiros no ambiente (DEVI, 2024).

As raízes das plantas, afetam a dispersão dos nematoides por meio da criação de gradientes de umidade na rizosfera. A liberação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) pelas raízes atua como atrativo, favorecendo o encontro entre nematoides (ENTOMOPATHOGÊNICOS e fitoparasitas) e hospedeiros sedentários que se alimentam de tecidos radiculares” (LEWIS et al., 2006; HILTPOLD et al., 2020).

A compreensão dos fatores que influenciam a distribuição e a eficiência dos nematoides entomopatogênicos é fundamental para o desenvolvimento de estratégias eficazes de manejo. Nesse contexto, a utilização de mapas temáticos torna-se uma ferramenta valiosa, pois permite a representação espacial detalhada das variáveis do solo, facilitando a identificação das áreas com maior potencial para a aplicação desses agentes biológicos.

Assim, a integração dos dados químicos do solo por meio de sistemas de informação geográfica é fundamental para compreender a dinâmica espacial dos nematoides entomopatogênicos no ambiente.

### 2.3. Mapas temáticos

Os avanços nas geotecnologias têm se mostrado essenciais na agricultura de precisão e no manejo integrado de pragas e doenças. Ferramentas como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitem integrar dados amostrais com suas respectivas coordenadas, possibilitando a criação de mapas temáticos que evidenciam padrões de distribuição de organismos e a variabilidade dos atributos físico-químicos do solo (MIRANDA et al., 2015; ANDRADE et al., 2017).

Técnicas de interpolação, como o método *Top to Raster* e o uso de isolinhas, são empregadas para gerar superfícies contínuas que modelam gradientes de nutrientes e elementos químicos (TEIXEIRA et al., 2017; FERREIRA et al., 2016), enquanto métodos como *Kernel Density* e *heatmaps* facilitam a visualização de *hotspots* e a intensidade da ocorrência de organismos, como os nematoides, em diferentes áreas (ESRI, 2024; SILVA et al., 2019; ALMEIDA et al., 2020).

A sobreposição de camadas temáticas, como mapas de presença/ausência e curvas de nível, permite a análise espacial qualitativa e revela correlações entre a ocorrência de NEPs e variáveis edáficas (CHEN et al., 2021; PASSOS, 2025).

A abordagem integrada não apenas favorece o monitoramento e a aplicação localizada de medidas de controle fitossanitário, como também fundamenta a construção de modelos preditivos que viabilizam estratégias de manejo agrícola mais eficientes e ambientalmente sustentáveis (ALVES, 2024; EMPRAPA AGRITEMPO, 2024).

A incorporação dos SIG permite a coleta, análise e visualização espacial de dados, possibilitando a identificação de padrões ecológicos e edáficos que influenciam diretamente na produtividade e na sanidade das culturas (TEIXEIRA et al., 2017; RODRIGUES et al., 2018).

Softwares como o ArcGIS Pro, quando equipados com a extensão Spatial Analyst (versão 3.4, nov/2024) são essenciais para gerar mapas temáticos de alta resolução e realizar análises ambientais e edafológicas avançadas (ESRI, 2024). A integração dessas ferramentas com técnicas de mineração de dados amplia ainda mais o potencial preditivo dos modelos espaciais, proporcionando uma base sólida para tomada de decisões no manejo localizado e sustentável de áreas cultivadas (EMBRAPA, 2018).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Descrição da área de estudo

Amostras de solo para isolamento de NEPs foram coletadas em área agrícola nas propriedades Pastão e Londrina, ambas pertencentes ao município de Monte Carmelo, Minas Gerais, localizado na microrregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

A propriedade Pastão se localiza a 1.015 m de altitude, latitude  $18^{\circ}55'20''\text{S}$  e longitude  $47^{\circ}21'55''\text{O}$  (Figura 1). Já a propriedade Londrina encontra-se a 1.045 m de altitude, latitude  $18^{\circ}56'15''\text{S}$  e longitude  $47^{\circ}22'34''\text{O}$  (Figura 2). A distância dos locais de coleta entre as duas fazendas é de, aproximadamente, 2 Km.

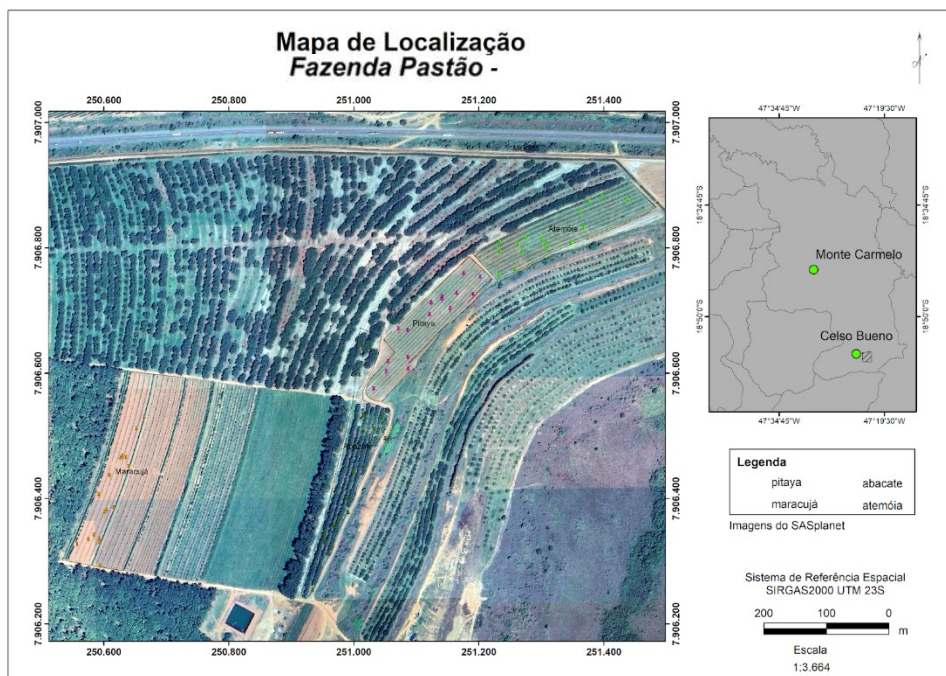


FIGURA 1. Mapa de localização da Fazenda Pastão.

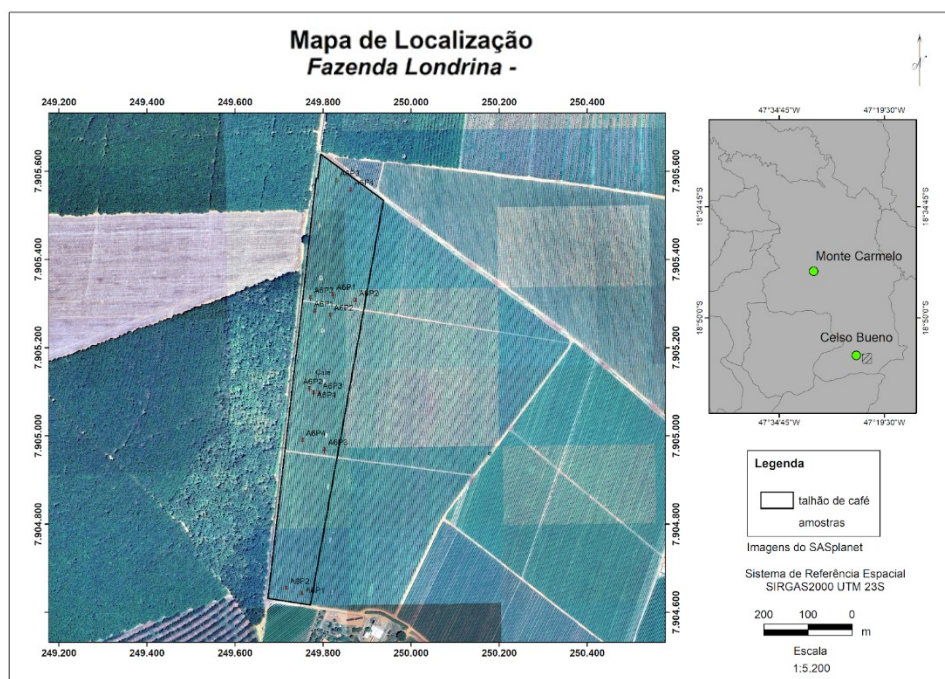


FIGURA 2. Mapa de localização da Fazenda Londrina.

O solo das áreas experimentais é classificado como Latossolo Vermelho Distrófico de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS), (EMBRAPA, 2013). A classificação do clima é Aw (KÖPPEN, 1936). A região possui clima Tropical com maior pluviosidade na estação de verão.

As amostras foram coletadas entre janeiro e maio de 2024, em áreas de cultivo de abacateiro *Persea americana* (Lauraceae), atemoia *Annona × atemoya* (Annonaceae), maracujazeiro *Passiflora edulis* (Passifloraceae) e pitaya *Hylocereus undatus* (Cactaceae) na propriedade Pastão, e de cafeeiro *Coffea arabica* (Rubiaceae) na propriedade Londrina, totalizando 82 amostras (Tabela 1).

TABELA 1. Culturas, número de amostras coletadas e tamanho da área da cultura (ha).

Cultura	Nº de amostras	Tamanho da área (ha)
Atemoia	17	2
Pitaya	17	1,5
Abacateiro	17	2
Maracujá	17	2
Cafeeiro	14	13

Os tratos culturais foram realizados de acordo com as práticas convencionais adotadas em cada propriedade para cada cultura (Tabelas 2 e 3).

TABELA 2. Manejo cultural nas lavouras de atemoia, abacateiro, pitaya e maracujazeiro na Fazenda Pastão

Cultura	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maiο
Atemoia	Adubo Biológico	Adubação mineral	Adubação mineral	Adubação mineral	-
		Inseticida/Acaricida biológico			
		Nematicida			
		microbiológico			
Abacateiro	Adubo Biológico	Fungicida microbiológico	-	-	-
		Adubação mineral			
Pitaya	Adubação mineral, Fertirrigação	-	-	Adubação biológica	-
Maracujazeiro	Adubo biológico, Adubação mineral	Adubação biológica	-	Adubação mineral	Fertirrigação
		Adubação mineral			
		Fertirrigação			
		Regulador de crescimento			

Janeiro: **Pitaya** – Adubação mineral NPK, NKS / Fertirrigação K; **Maracujazeiro** – Adubação mineral NPK.

Fevereiro: **Atemoia** – Adubação mineral K, Inseticida/Acaricida biológico - *Beauveria bassiana*, Nematicida microbiológico - *Bacillus subtilis*, *Bacillus licheniformis*, *Paecilomyces lilacinus*; Fungicida microbiológico - *Bacillus amyloliquefaciens*, *Trichoderma harzianum* / **Abacateiro** –

Adubação mineral K / **Marcujazeiro** - Adubação mineral K, NPK, NKS, MAP; Fertirrigação NPK, K, N, Ca / Regulador de crescimento Etefom

Março: **Atemoia** – Adubação mineral K

Abril: **Atemoia** – Adubação mineral NPK / **Maracujazeiro** – Adubação mineral NPK

TABELA 3. Manejo cultural em lavoura cafeeira da Fazenda Londrina

<b>Cultura</b>	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Maio</b>
Cafeeiro	Inseticida Fertilizante foliar Fungicida	-	Fungicida Inseticida/acaricida Adubação foliar Adubação mineral	-	-

Janeiro: Inseticida - Cetoenol, Fungicida - Estrobilurina e Triazol, Fertilizante Foliar – Zn e B, Adjuvante.

Março: Fungicida - Estrobirulina e Triazol / Inseticida - Tiametoxam e Clorantraniliprole / Inseticida/Acaricida/Nematicida - Avermectina / Adjuvante / Adubação foliar - Zn e B / Adubação mineral – N.

As amostras foram coletadas de forma aleatória dentro do perímetro de cada cultura, visando obter uma representação ampla e precisa da área. As coordenadas geográficas de cada ponto amostrado foram obtidas por meio do aparelho de GPS Portátil GarminGPSMap 78.

TABELA 4 – Pontos de amostragem e suas coordenadas geográficas (latitude e longitude) nas áreas de cultivo de atemoia (A1), pitaya (A2), abacate (A3), maracujá (A4) e café (A6).

PONTOS	Latitude	Longitude
A1P1	18 54 58.0 S	047 21 42.7 W
A1P2	18 54 57.5 S	047 21 42.0 W
A1P3	18 54 57.3 S	047 21 41.3 W
A2P1	18 54 59.1 S	047 21 44.7 W
A2P2	18 55 00.3 S	047 21 45.9 W
A2P3	18 55 02.0 S	047 21 47.8 W
A3P1	18 55 07.6 S	047 21 49.1 W
A3P2	18 55 11.4 S	047 21 51.2 W
A3P3	18 55 15.4 S	047 21 53.2 W
A4P1	18 55 12.4 S	047 22 05.1 W
A4P2	18 55 11.1 S	047 22 04.4 W
A4P3	18 55 08.4 S	047 22 03.3 W
A1P1	18 54 57.80 S	047 21 42.90 W
A1P2	18 54 57.80 S	047 21 42.90 W
A1P3	18 54 58.00 S	047 21 41.50 W
A1P4	18 54 59.20 S	047 21 42.80 W
A2P1	18 54 59.30 S	047 21 43.80 W
A2P2	18 55 00.10 S	047 21 45.10 W
A2P3	18 55 00.60 S	047 21 46.50 W
A2P4	18 55 00.40 S	047 21 45.90 W
A3P1	18 55 06.50 S	047 21 49.30 W
A3P2	18 55 07.10 S	047 21 49.70 W
A3P3	18 55 07.20 S	047 21 50.30 W
A3P4	18 55 06.40 S	047 21 50.30 W
A4P1	18 55 12.80 S	047 22 04.80 W
A4P2	18 55 11.20 S	047 22 04.80 W
A4P3	18 55 09.30 S	047 22 02.19 W
A4P4	18 55 08.40 S	047 22 03.60 W
A6P1	18 56 07.30 S	047 22 34.30 W
A6P2	18 56 06.90 S	047 22 35.50 W
A6P3	18 55 56.70 S	047 22 32.40 W
A6P4	18 55 56.00 S	047 22 34.10 W

### 3.2. Coleta e Processamento do Solo

Para coleta do solo, em cada ponto, a camada superficial (aproximadamente 5 cm) foi desprezada, coletando-se a camada de 5-15 cm do solo. A cada período de amostragem foram selecionados de três a quatro pontos distintos em cada cultura, evitando áreas previamente coletadas. As coletas ocorreram pela manhã, em intervalos de 15 a 21 dias, priorizando horários com menor incidência de radiação solar e calor, a fim de preservar a integridade das amostras durante a coleta e o transporte. O intervalo entre as coletas e quantidade de amostras foi definido para otimizar o processamento das amostras no laboratório.

As amostras de solo foram colocadas em sacos de polietileno com capacidade de 1L. As amostras foram identificadas e etiquetadas, armazenadas em caixas de isopor e encaminhadas ao Laboratório de Entomologia Agrícola – LABEN, da Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, MG. No laboratório, as amostras foram colocadas em potes de plástico de polietileno de 500 mL. Foram inseridas seis larvas de *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) padronizadas pelo tamanho e os recipientes foram fechados, virados com a tampa para baixo e mantidos à temperatura ambiente. Após cinco a sete dias, os insetos mortos e com sintomas de infecção por NEP foram desinfetados superficialmente com solução de hipoclorito de sódio a 0,1% e colocados em câmara seca (placa de Petri de 9 cm de diâmetro com papel filtro). Após três dias, os cadáveres foram transferidos para armadilhas de White (WHITE, 1927) para coleta dos JI. Após cerca de oito dias os JI deslocam-se do inseto para a água, pelo papel, enquanto os adultos ou outras fases juvenis permanecem no inseto. As armadilhas foram verificadas periodicamente, recolhendo-se os JI, dentro do período de oito dias.

Nos JI recolhidos foi utilizado o postulado de Koch para confirmação da patogenicidade, que posteriormente foram conservados em câmara climatizada tipo B.O.D. com temperatura de  $16 \pm 2^\circ\text{C}$  no período de dois a três meses. Passado o período de armazenamento predeterminado, estes foram multiplicados em larvas de *T. molitor* e acondicionados novamente em câmara com temperatura controlada.

### 3.3. Elaboração dos Mapas

As análises dos teores de cálcio, magnésio, potássio, manganês, enxofre, boro, ferro, cobre, zinco e saturação por base foram fornecidas pelas próprias fazendas. Na Fazenda Pastão, as análises foram realizadas pelo Grupo Safrar Análises Agrícolas; na Fazenda Londrina, pelo laboratório Unithal.

A proposta da elaboração dos mapas é a visualização espacial da presença (ou não) de nematoides nos talhões das culturas observadas para então inferir se há correlação.

Todos os mapas foram produzidos no ArcGIS Desktop - 10 licença ArcINFO extensão Spatial Analyst, do SIGEO (Laboratório de SIG e Geoprocessamento do Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da UFU).

O mapa de situação consiste em mostrar a presença ou não de nematoides nas amostras coletadas dentro dos talhões. Na tabela foi criado um campo chamado situação e nele definida a codificação 1 (presença) e 0 (ausência). Em seguida foi gerada uma superfície de calor com a ferramenta Kernel Density, a qual produz uma superfície suavizada e determina a influência de um ponto na área de seu entorno. No resultado foram definidas cinco classes com valores variando entre 0 e 100, indicativos do percentual de presença de nematoides. Devido à extensão territorial da área de estudo foram gerados dois mapas - um para os talhões das culturas de atemóia, pitaya, abacate e maracujá e outro para o talhão de café.

Para os Mapas de Atributos Químicos do Solo foi gerada uma superfície para cada um dos atributos do solo que foram coletados e analisados em laboratório, os quais são: cálcio, magnésio, potássio, manganês, enxofre, boro, ferro, cobre e zinco. As superfícies foram produzidas pela aplicação da ferramenta *Top to Raster*. A partir delas foram extraídas isolinhas com a ferramenta Contour (Surface), as quais foram usadas nos mapas entre nematoides e atributos do solo.

Os Mapas de Correlação foram gerados pela sobreposição das isolinhas de atributos químicos do solo para as culturas nas superfícies de situação, as quais indicam espacialmente onde ocorre a presença de nematoides em contraponto com o teor do atributo do solo em questão. Dessa maneira, é possível inferir se a ocorrência de nematoides pode estar associada à taxa do composto.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos mapas que foram gerados para as duas localidades foi possível observar que para Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) na Fazenda Pastão (Figura 3A) observa-se que o maior percentual de presença dos NEPs é mais evidente nas áreas com teores menores ( $3,5 \text{ cmolc/dm}^3$ ). Já para a Fazenda Londrina (Figura 4A) o maior índice de presença de NEPs foi encontrado entre ( $1,0 - 0,8 \text{ cmolc/dm}^3$ ) de Ca. Agronomicamente, a faixa de  $2,1$  a  $4,0 \text{ cmolc/dm}^3$  é considerada ideal para o teor de cálcio trocável no solo (EMBRAPA, 1987), porém não há estudos que citam especificamente qual o limiar ideal para a sobrevivência e multiplicação da microbiota do solo. O cálcio é um nutriente essencial nas plantas, responsável por funções estruturais e fisiológicas vitais, atuando na estabilização da parede celular, manutenção da integridade das membranas e regulação de processos de sinalização intracelular (WLÓDAWIAK; PODGÓRSKA; SZAL, 2024). Essa atuação — estrutural e sinalizadora — torna evidentes os efeitos dos diferentes teores de  $\text{Ca}^{2+}$  no solo sobre a saúde e proliferação da microbiota, incluindo os NEPs, nas áreas de estudo.

O magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) na Fazenda Pastão (Figura 3B), não apresentou padrão espacial definido. A ocorrência de NEPs se mostrou dispersa, com presença tanto em áreas com teores baixos quanto altos de magnésio ( $1,4 - 1,54 \text{ cmolc/dm}^3$ ) sem uma correlação evidente. Já na Fazenda Londrina (Figura 4B), a presença dos NEPs ficou situada nos teores de ( $0,15 - 0,25 \text{ cmolc/dm}^3$ ) na área total. Sendo assim, não foi possível identificar se o magnésio tem efeito direto sobre os NEPs, sua influência pode estar mascarada por outros fatores ambientais. A relação entre a razão Ca:Mg, por exemplo, pode ser mais relevante do que o teor absoluto de magnésio. A relação Ca:Mg pode ser mais relevante do que o teor absoluto de magnésio, pois afeta a estrutura do solo e sua dinâmica com a água, influenciando indiretamente a mobilidade dos NEPs (SCHULTE; KELLING, 2016). Investigações futuras sobre esse equilíbrio entre cátions podem fornecer insights mais precisos.

No caso do potássio (K) nas Fazenda Pastão (Figura 3C) e Londrina (Figura 4C), em todas as culturas, os mapas revelaram maior densidade de NEPs em áreas com concentrações mais altas deste nutriente (acima de  $0,23 \text{ cmolc/dm}^3$ ). Em concentrações mais baixas ( $0,16 \text{ cmolc/dm}^3$ ) é possível observar a presença destes microorganismos (Figura 3C), porém em menor percentual. Conforme STROMBERGER et al. (1994), dentre as várias funções na planta, o potássio é responsável pela ativação enzimática no

processo de transporte do nitrogênio e, conseqüentemente, crescimento e desenvolvimento celular, o que confere aumento de tecidos na planta. Uma planta com maior vigor apresenta conseqüentemente uma rizosfera mais ativa e saudável. Investigações que envolvam a sanidade vegetal, comunidades simbióticas e nutrição do solo podem ser valiosas.

A respeito do manganês (Mn) tanto na Fazenda Pastão (Figura 3D) quanto na Londrina (Figura 4D), em todas as culturas, observou-se tendência de maior percentual de NEPs em áreas com teores acima de  $1,4 \text{ cmolc/dm}^3$  do nutriente. Não há relatos específicos na literatura que cite como este nutriente afeta diretamente o comportamento dos NEPs. Mais estudos são necessários para determinar se o Mn atua como fator limitante ou favorecedor dos NEPs.

Em relação ao enxofre (S) a presença de NEPs não apresentou padrão espacial definido. Na Fazenda Pastão (Figura 3E), a ocorrência se mostrou dispersa, com presença tanto em áreas com teores baixos quanto altos de enxofre ( $27,5 - 20,5 \text{ cmolc/dm}^3$ ) sem uma correlação evidente. Já na Fazenda Londrina (Figura 4E) também não foi possível identificar devido baixa dispersão de pontos com NEPs presentes na área. Considerando que o enxofre pode alterar a acidez do solo devido à sua conversão em ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), que ocorre por meio de processos microbiológicos e químicos (SCHRODER; FOUSS, 1992), é necessário a realização de mais estudos para confirmar o limiar em que sua interação se torna positiva ou negativa na presença dos NEPs.

No caso do boro (B) na Fazenda Pastão (Figura 3F) e Londrina (Figura 4F), os dados novamente não revelaram padrão espacial claro entre sua concentração e a presença dos NEPs. A ocorrência dos nematoides aparece distribuída de maneira dispersa, com leve concentração em áreas de maiores teores ( $1,08 \text{ cmolc/dm}^3$ ), mas sem correlação consistente. Segundo estudo realizado por FERREIRA et al. (2001) teores elevados de boro reduzem a respiração microbiana e afetam a diversidade de fungos e bactérias no solo. Além disso, o boro interage com a matéria orgânica do solo, influenciando a dinâmica dos microrganismos presentes no solo de maneira geral.

Para o ferro (Fe) (Figura 3G) na Fazenda Pastão, assim como na Londrina (Figura 4G) - identificou-se que os NEPs estão concentrados principalmente em áreas com altos teores ( $34,0 \text{ cmolc/dm}^3$ ) desse nutriente. Isso pode indicar uma relação positiva entre a presença de Fe e as condições edáficas favoráveis à ocorrência dos organismos. Embora não existam evidências diretas ligando os níveis de ferro no solo à

ocorrência ou eficácia dos NEPs, pesquisas indicam que a disponibilidade de ferro pode afetar a microbiota do solo e, conseqüentemente, o ambiente em que os NEPs operam.

Por exemplo, fungos entomopatogênicos como *Metarhizium brunneum* podem melhorar a disponibilidade de ferro para as plantas, o que pode alterar as interações entre plantas, microrganismos do solo e NEPs (RUIZ et al., 2016). Além disso, a competição por ferro entre microrganismos do solo pode influenciar a sobrevivência e a eficácia dos NEPs, embora mais pesquisas sejam necessárias para esclarecer esses efeitos (LI et al., 2024).

Na Fazenda Pastão, em todas as culturas, os mapas de correlação indicaram que a presença de NEPs foi mais significativa em áreas com menores concentrações de cobre (Cu) no solo ( $8,0 \text{ cmolc/dm}^3$ ). Por outro lado, regiões com teores mais elevados de Cu ( $15,0 \text{ cmolc/dm}^3$ ) apresentaram menor ocorrência desses organismos, sugerindo relação inversa entre os níveis de cobre e a presença de NEPs. O excesso de cobre (Cu) no solo, devido às suas propriedades bactericidas e fungicidas, pode impactar negativamente a comunidade microbiana. Por exemplo, SANTOS (2006) verificou que determinada concentração de Cu inibiu significativamente as populações de bactérias e fungos do solo. BARROS (2022) observou que altas concentrações de cobre reduzem o desenvolvimento da parte aérea e radicular de plantas, mesmo quando associadas a microrganismos benéficos como fungos micorrízicos e bactérias do gênero.

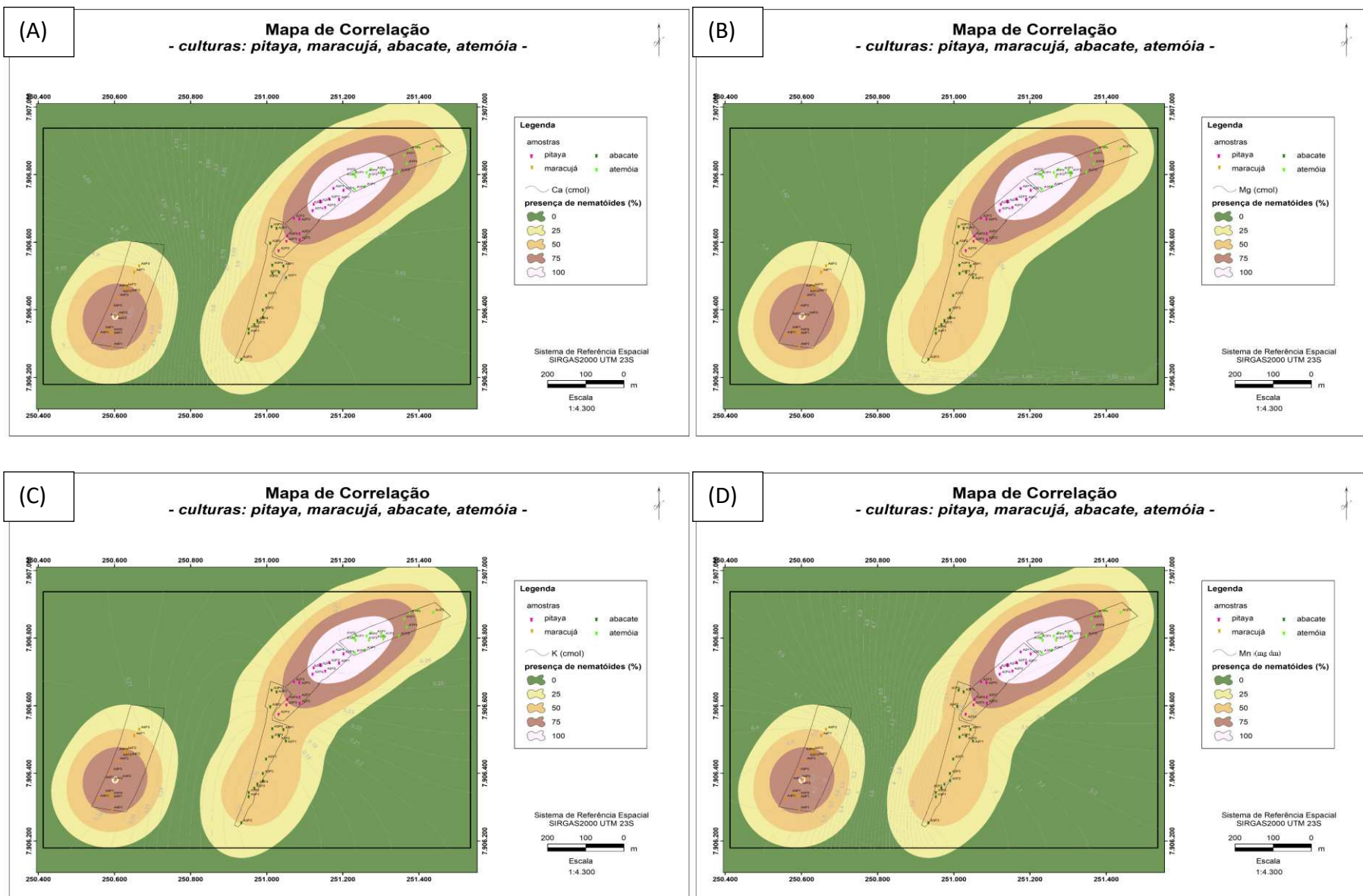
Na Fazenda Londrina (Figura 4H) não foi possível identificar um padrão devido à disposição das amostras positivas encontradas. O excesso de Cu no solo, devido às suas propriedades bactericidas e fungicidas pode impactar negativamente a comunidade microbiana. Por exemplo, SANTOS (2006) verificou que determinada concentração de Cu inibiu significativamente as populações de bactérias e fungos do solo. Além disso, BARROS (2022) observou que altas concentrações de cobre reduzem o desenvolvimento da parte aérea e radicular de plantas, mesmo quando associadas a microrganismos benéficos, como fungos micorrízicos e bactérias do gênero.

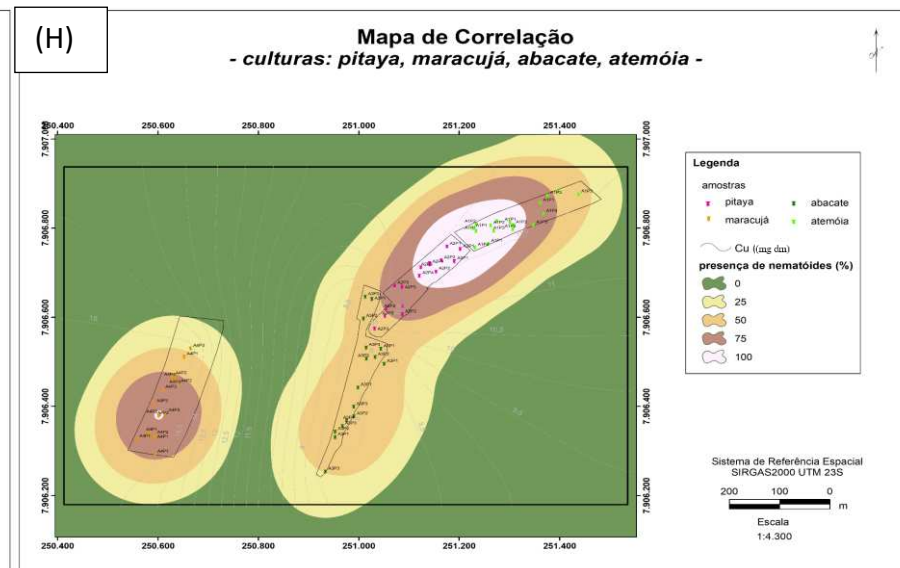
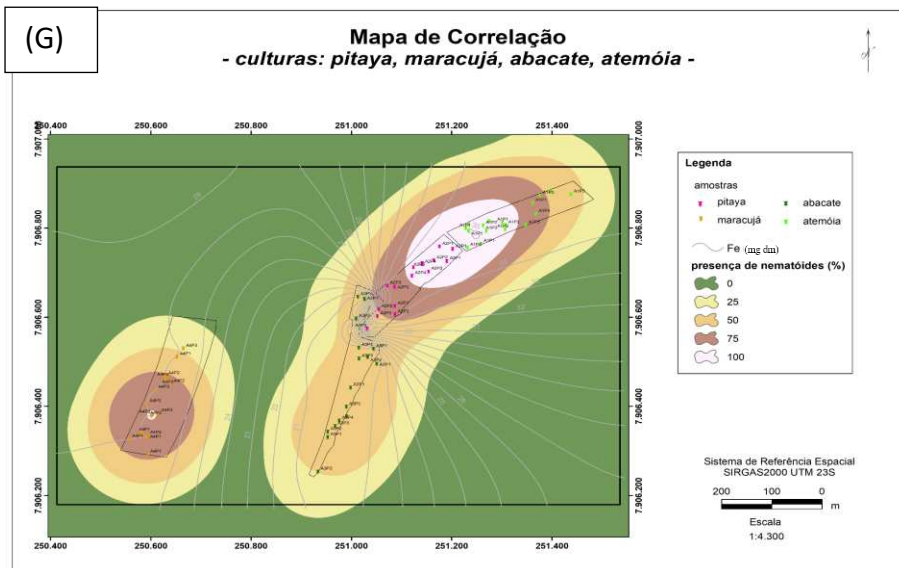
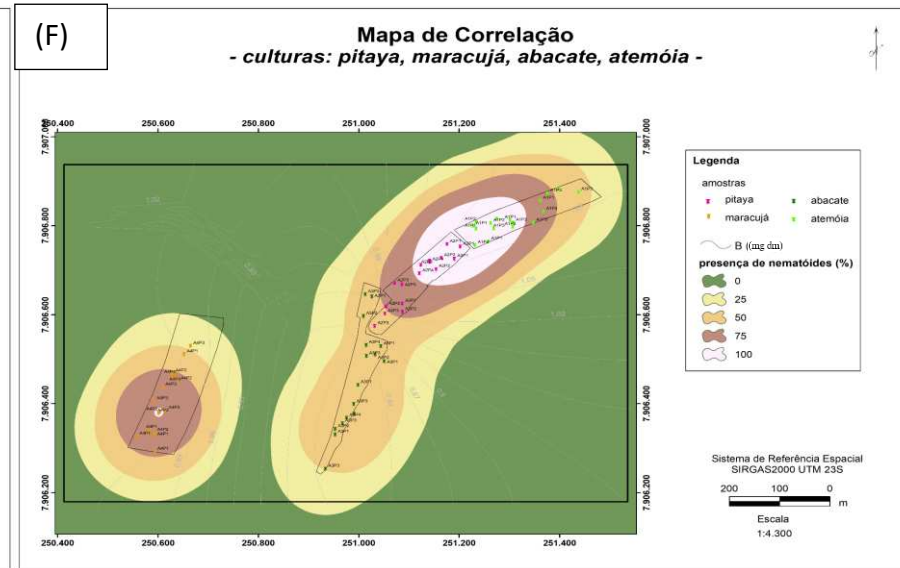
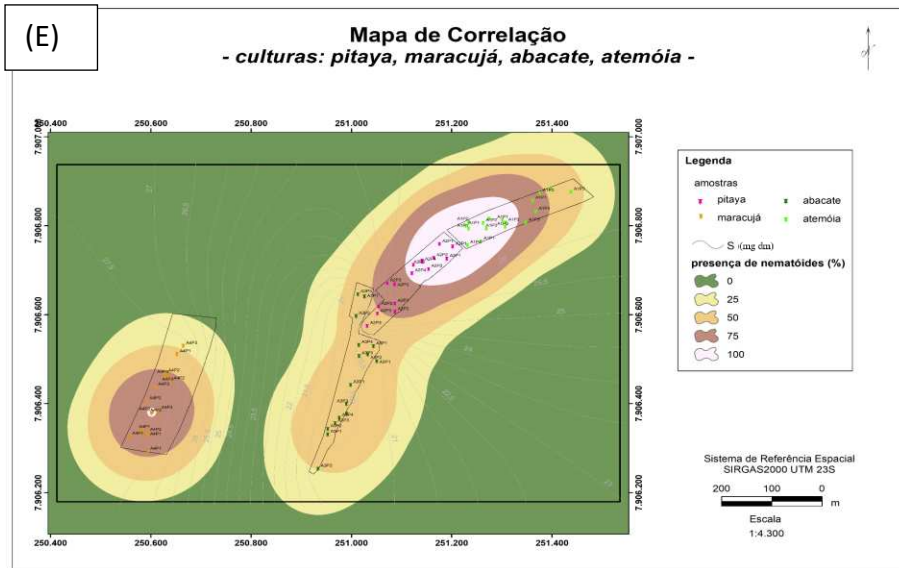
Para zinco (Zn), na Fazenda Pastão (Figura 3I), a presença de NEPs foi maior em áreas com altos teores de zinco (acima de  $30 \text{ mg/dm}^3$ ), enquanto na Fazenda Londrina (Figura 4I) ocorreu em áreas com teores entre 7 e  $9 \text{ mg/dm}^3$ . Essa variação impede a definição de um limiar benéfico de Zn para os NEPs. Embora estudos como o de NAVARRETE et al. (2017) apontem que o Zn pode alterar a estrutura funcional da microbiota do solo, ainda há uma lacuna quanto aos seus efeitos específicos sobre os

nematoides entomopatogênicos, destacando a necessidade de pesquisas voltadas para essa interação.

Esse conjunto de análises reforça a importância de abordagens exploratórias na investigação da ecologia de organismos benéficos do solo. Apesar de não permitirem inferência causal, essas interpretações fornecem base valiosa para o desenvolvimento de hipóteses e delineamentos experimentais mais robustos nas etapas seguintes da pesquisa.

FIGURA 3. Mapa de Correlação – culturas: pitaya, maracujá, abacate, atemoia





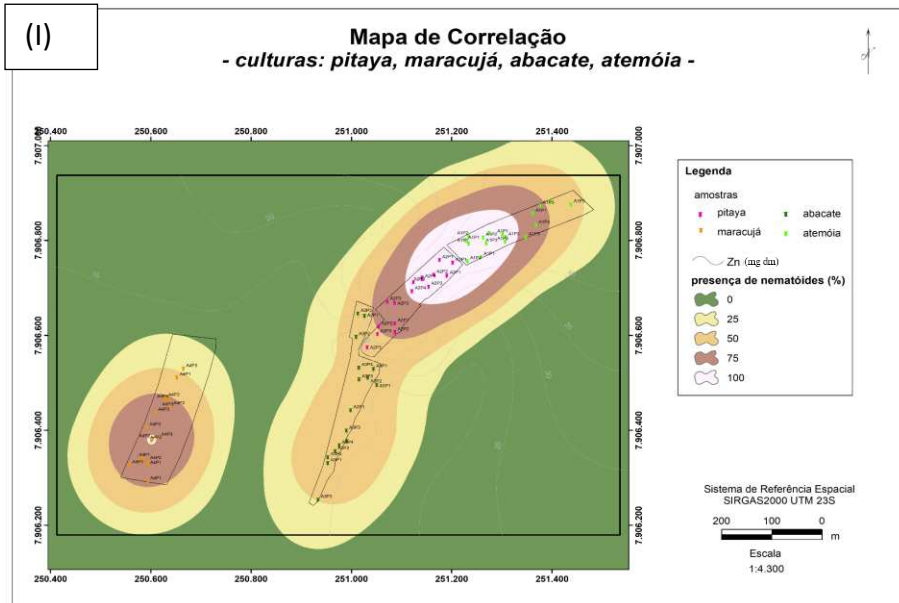
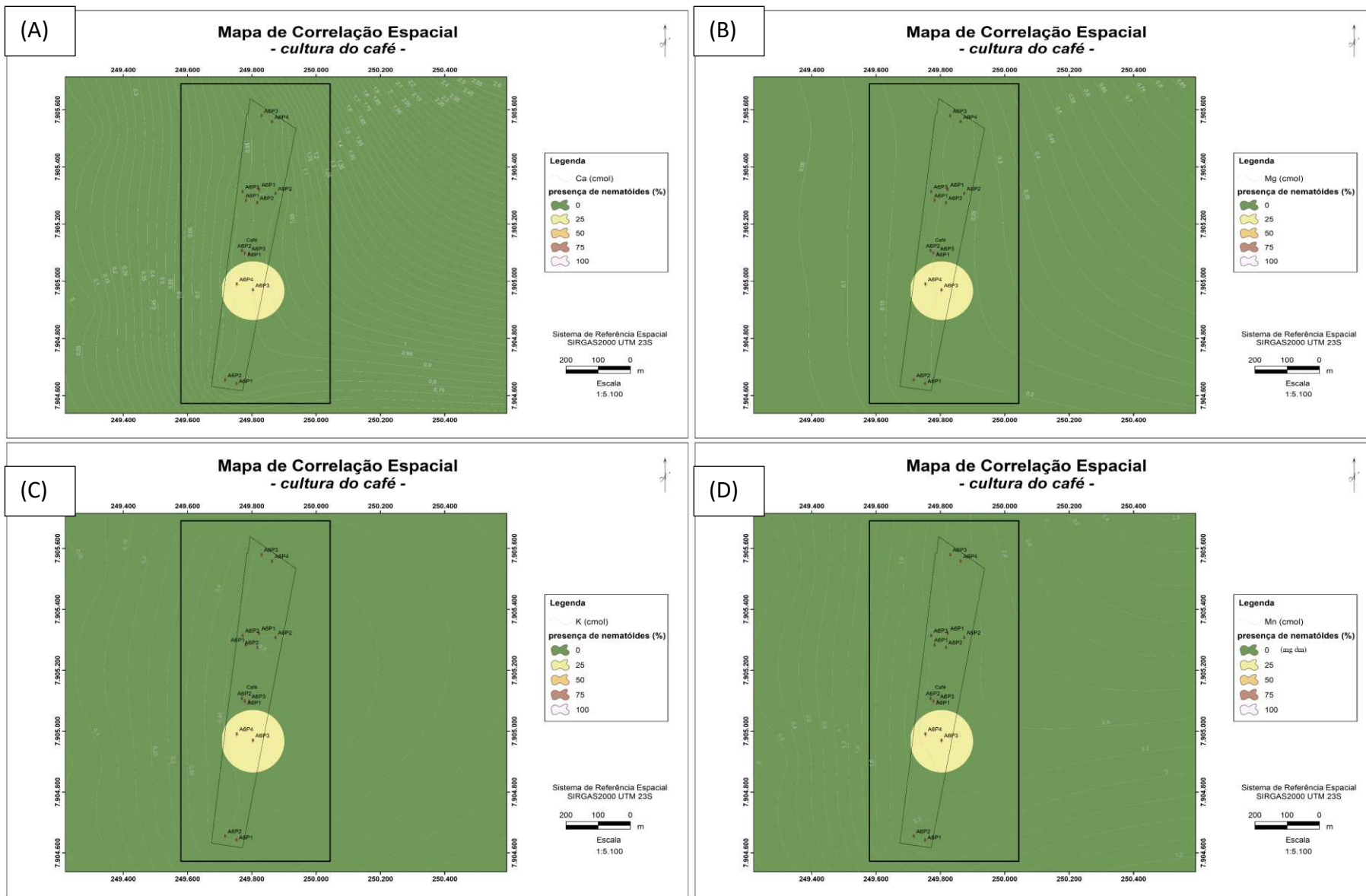
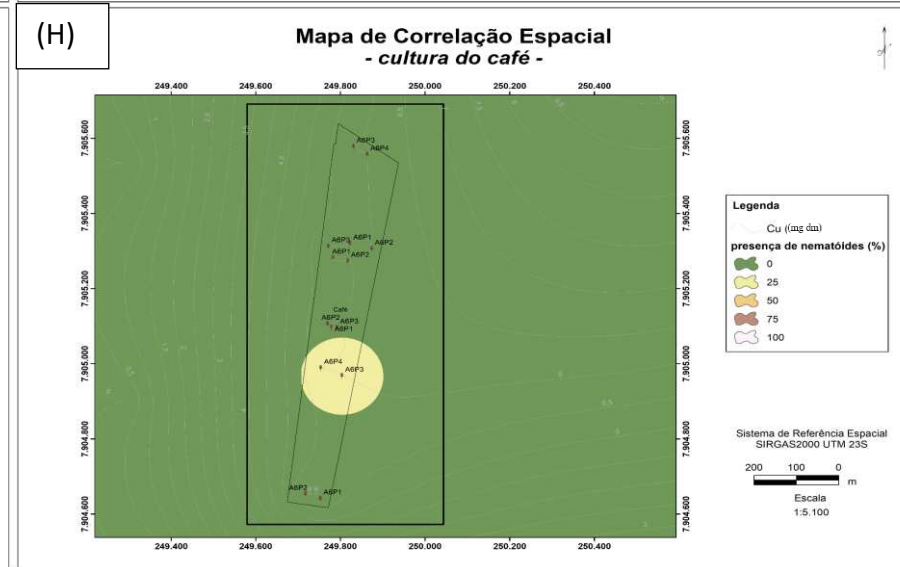
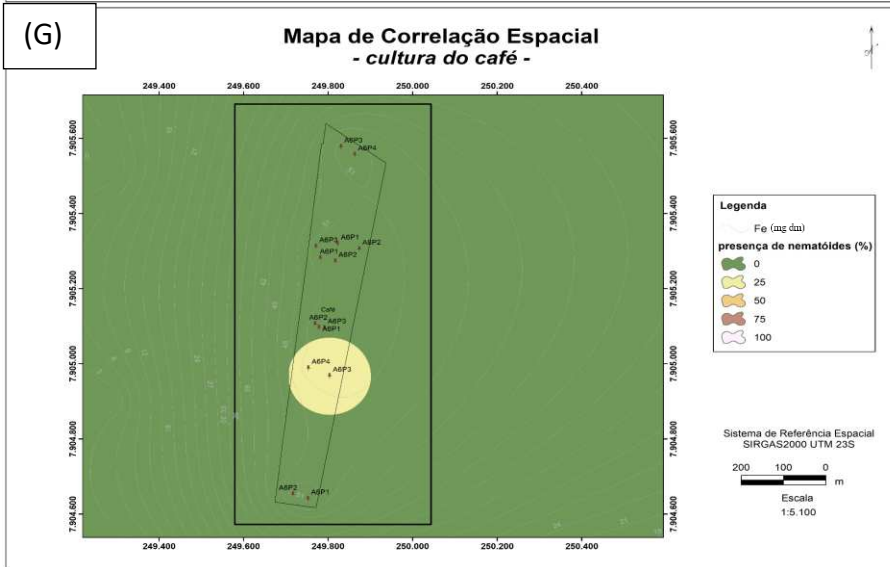
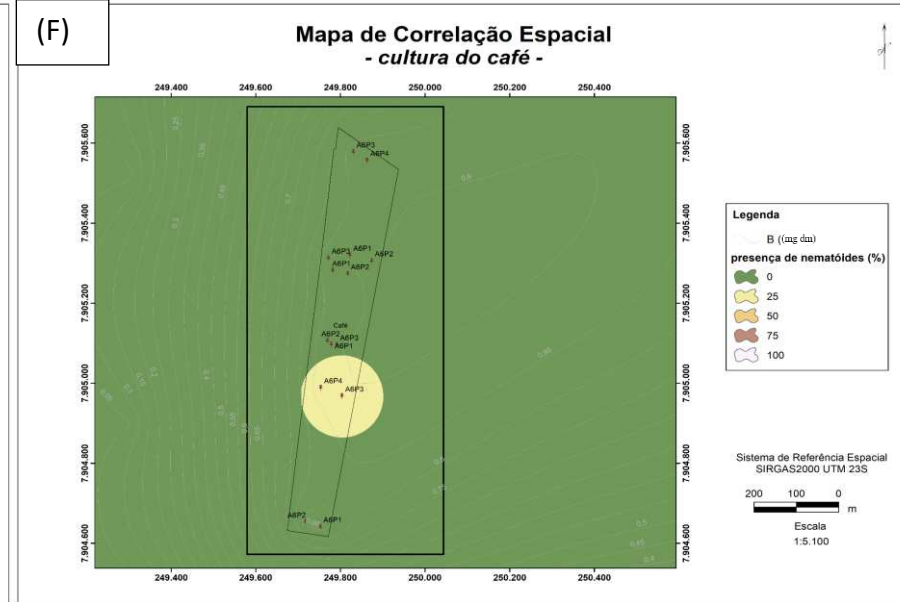
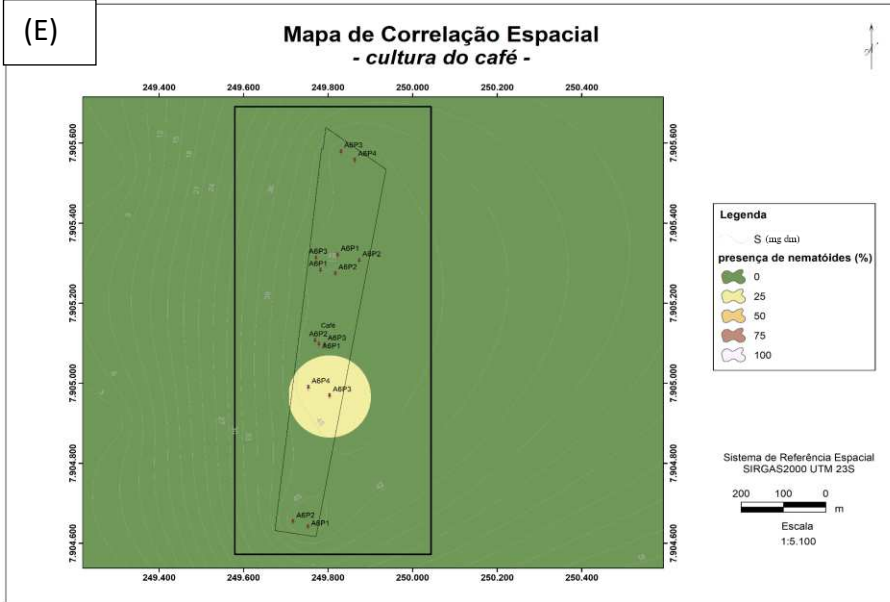
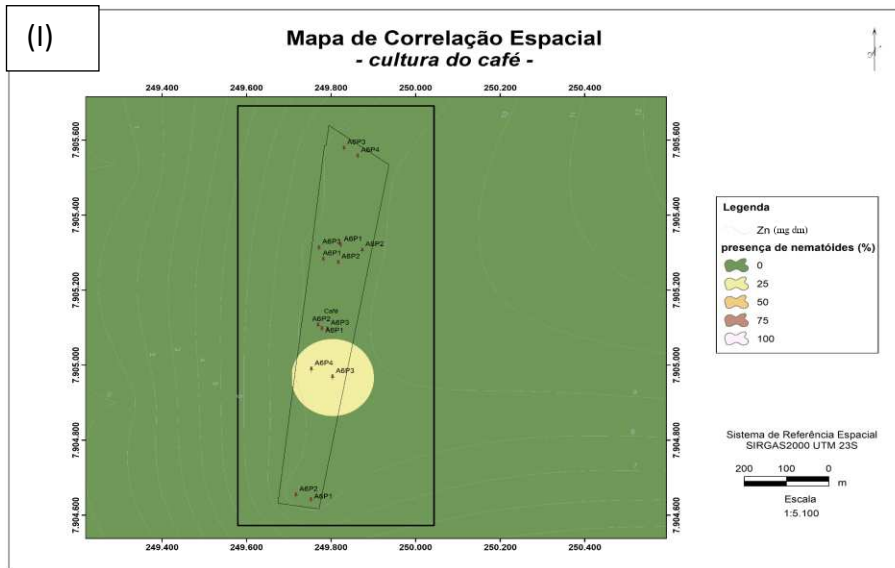


FIGURA 4. Mapa de Correlação – cultura do café







Os resultados obtidos neste estudo evidenciam o potencial dos mapas temáticos como ferramentas estratégicas para compreender a distribuição espacial de NEPs em diferentes sistemas de cultivo. A associação entre atributos químicos do solo e a presença de NEPs, especialmente a correlação positiva com teores mais elevados de potássio e ferro, e negativa com concentrações elevadas de cobre, destaca a importância da fertilidade do solo na dinâmica desses organismos. Embora não tenha sido possível estabelecer relações causais, os padrões observados fornecem subsídios relevantes para o uso dos NEPs no manejo biológico de pragas. Além disso, os dados gerados contribuem para futuras pesquisas voltadas à modelagem preditiva da ocorrência desses agentes biológicos, bem como para o delineamento de estratégias mais eficientes e sustentáveis no controle fitossanitário das culturas estudadas.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos demonstram que a distribuição de nematoides entomopatogênicos (NEPs) varia em função tanto das culturas analisadas quanto dos atributos químicos do solo. Observa-se maior frequência de ocorrência dos NEPs nas áreas cultivadas com atemoia e pitaya, seguida por maracujá, abacate e, em menor intensidade, café.

Em relação aos atributos do solo, os mapas indicam que teores mais elevados de potássio, ferro e manganês favorecem a presença desses organismos, enquanto altas concentrações de cobre tendem a reduzir sua incidência. Para magnésio, enxofre e boro, não se identificam padrões espaciais consistentes, o que reforça a influência de múltiplos fatores edáficos e ambientais sobre a dinâmica desses entomopatógenos.

A abordagem geoespacial adotada permite visualizar essas interações de forma integrada, fornecendo subsídios importantes para o aprimoramento de estratégias de controle biológico em diferentes sistemas agrícolas. Esses achados contribuem para a compreensão ecológica dos NEPs em campo e reforçam a necessidade de estudos futuros com delineamentos experimentais e análises multivariadas que considerem simultaneamente o tipo de cultivo, a fertilidade do solo e a microbiota associada, especialmente no contexto do manejo sustentável do cafeeiro.

## 6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. et al. Uso de mapas de calor na análise de fitopatógenos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 44, p. 123–135, 2020.

ALMENARA, D. P. et al. Eficácia de isolados de nematoides entomopatogênicos no controle de pragas agrícolas. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 7, n. 2, p. 20–26, 2012.

ALVES, H. M. R. Monitoramento climático e fitossanitário como ferramenta para o manejo integrado das principais pragas e doenças do cafeeiro. Embrapa Café, 2024. Disponível em: <https://www.embrapa.br/cafe/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1170653/monitoramento-climatico-e-fitossanitario-como-ferramenta-para-o-manejo-integrado-das-principais-pragas-e-doencas-do-cafeeiro>. Acesso em: 12 mar. 2025.

ALVES, V. S. et al. Patogenicidade de nematoides entomopatogênicos à cochonilha da raiz do cafeeiro *Dysmicoccustexensis* (Tinsley) (Hemiptera: Pseudococcidae) em laboratório. *Arquivos do Instituto Biológico*, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1808-1657v76p0672009>>. Acesso em: 11 jan. 2025.

ANDRADE, L. et al. Aplicações de SIG na agricultura de precisão. *Revista Geociências*, v. 26, n. 2, p. 200–212, 2017.

BARROS, S. Fungos micorrízicos arbusculares e *Azospirillum brasilense* no desenvolvimento de sorgo e milho cultivados em solo contaminado com cobre. 2022. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Agricultura e Ambiente) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/25791>. Acesso em: 23 abr. 2025.

BETTIOL, W. et al. Supressividade a fitopatógenos habitantes do solo. In: BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (orgs.). *Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas*. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 187–208.

BOEMARE, N. Interactions between *Steinernema* and *Xenorhabdus* spp.: specificity and bacterial pathogenicity. In: GAUGLER, R. (ed.). *Entomopathogenic Nematology*. Wallingford: CABI Publishing, 2002. p. 35–56.

BORGES, J. V. O. et al. Virulence of entomopathogenic nematodes against Neotropical Brown Stink Bug (*Euschistus heros* [Fabricius], Hemiptera, Pentatomidae) and compatibility with phytosanitary products under laboratory conditions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, v. 25, p. 1–12, 2023.

CAMPOS-HERRERA, R.; TURLINGS, T. Unraveling the intraguild competition between *Oscheius* spp. nematodes and entomopathogenic nematodes: implications for their natural distribution in Swiss agricultural soils. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 132, p. 216–227, 2015.

CHASTON, J.; GOODRICH-BLAIR, H. Common trends in mutualism revealed by model associations between invertebrates and bacteria. *FEMS Microbiology Reviews*, v. 34, p. 41–58, 2010.

CHEN, Wei et al. Entomopathogenic nematodes and their symbiotic bacteria: mechanisms of insect pathogenicity and biocontrol applications. *Frontiers in Insect Science*, v. 3, p. 1195254, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3389/finsc.2023.1195254>.

CHEN, H. et al. Large-Scale Patterns of Soil Nematodes across Grasslands on the Tibetan Plateau: Relationships with Climate, Soil and Plants. *Diversity*, Basel, v. 13, n. 8, p. 369, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/d13080369>. Acesso em: 09 fev. 2025.

DEVI, Gitanjali. Influence of abiotic factors on efficacy of entomopathogenic nematodes. *International Journal of Plant & Soil Science*, v. 36, n. 3, p. 283–290, 2024. DOI: 10.9734/ijpss/2024/v36i34425.

DEVI, G. Impact of Organic Amendments on Entomopathogenic Nematodes: An Overview. *International Journal of Plant & Soil Science*, v. 36, n. 9, p. 461–467, set. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.9734/ijpss/2024/v36i94995>. Acesso em: 08 dec. 2024

DOWDS, B. C. A.; PETERS, A. Virulence mechanisms. In: GAUGLER, R. (ed.). *Entomopathogenic Nematology*. Wallingford: CABI Publishing, 2002. p. 79–98.

EMBRAPA. Agrotóxicos no Brasil. Agência de Informação Embrapa. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agricultura-e-meio-ambiente/qualidade/dinamica/agrotoxicos-no-brasil>. 2021. Acesso em: 23 abr. 2025.

EMBRAPA. Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 11. ed. Porto Alegre: EMBRAPA, 1987.

EMBRAPA. Sistema Agritempo completa 20 anos com novo portal e dados para modelos preditivos na agricultura. Portal Embrapa, 2024. Disponível em: <https://portal-h.sede.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/90608715/sistema-de-monitoramento-agrometeorologico-da-embrapa-chega-aos-20-anos-investindo-em-melhorias>. Acesso em: 05 jan. 2025.

ESRI. What's New for Spatial Analyst in ArcGIS Pro 3.4. Esri blog, 29 dez. 2024. Disponível em: <https://www.esri.com/arcgis-blog/products/spatial-analyst/analytics/whats-new-for-spatial-analyst-in-arcgis-pro-3-4/>. Acesso em: 12 fev. 2025.

FATHI, S. A. A. Does landscape management influence communities of *Psyllopsis* and natural enemies on the common ash (*Fraxinus excelsior* L.)? *Journal of Insect Conservation*, v. 27, n. 2, p. 295–303, 27 dez. 2022. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10841-022-00454-8>>. Acesso em: 12 dez. 2022.

FERREIRA, A. et al. Curvas de nível em estudos edafológicos. *Ciência Rural*, v. 46, n. 5, p. 789–795, 2016.

FERREIRA, G. B.; FONTES, R. L. F.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, V. H. Influência de algumas características do solo nos teores de boro disponível. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 25, n. 1, p. 91-101, 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbcs/a/cFYCJ88p3ySb75N3KT6qzDG/>. Acesso em: 23 abr. 2025.

FONTES, G. M. E.; VALADARES-INGLIS, M. C. Controle Biológico de Pragas da Agricultura. Brasília: Embrapa, 2020. 510 p.

FRANKENSTEIN, D. et al. Soil moisture conditions alter behavior of entomopathogenic nematodes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 104, n. 7, p. 4383–4390, mai 2024. DOI: 10.1002/jsfa.13326. Acesso em: 15 jun. 2025.

- GEORGIS, R. et al. Successes and failures in the use of parasitic nematodes for pest control. *Biological Control*, v. 38, p. 103–123, 2002.
- GOTZ, P. et al. Immune responses of insects to nematode parasites. *Biological Reviews*, v. 56, n. 3, p. 229–251, 1981.
- HARUNA, A. et al. Improving soil physical properties through the use of cover crops: A review. *Agrosystems, Geosciences & Environment*, v. 3, e2105, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/agg2.20105>. Acesso em: 07 mar. 2025.
- HILTPOLD, I.; MOORE, B. D.; JOHNSON, S. N. Elevated atmospheric carbon dioxide concentrations alter root morphology and reduce the effectiveness of entomopathogenic nematodes. *Plant and Soil*, v. 447, n. 1–2, p. 1–14, fev. 2020. DOI: 10.1007/s11104-019-04075-0.
- HODDA, M. Phylum Nematoda: a classification, catalogue and index of valid genera, with a census of valid species. *Zootaxa*, Auckland, v. 5114, n. 1, p. 1–289, 2022. DOI: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.5114.1.1>.
- KAMITANI, F. L. Aplicação de nematoides entomopatogênicos no controle biológico de pragas agrícolas. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2010. (Documentos).
- KÖPPEN, Wladimir. *Climatologia: com um estudo de los climas de la tierra*. 2. ed. Berlim: Gebrüder Borntraeger, 1936.
- KOPPERT. Koppert lança comercialmente primeiro nematoide para controle biológico do mercado brasileiro. 2022. Disponível em: <https://www.koppert.com.br/centro-de-informacoes/noticias/koppert-lanca-comercialmente-primeiro-nematoide-para-controle-biologico-do-mercado-brasileiro/#:~:text=A%20Koppert%20est%C3%A1%20lan%C3%A7ando%20no,nematoides%20como%20pragas%20de%20solo>. Acesso em: 26 mar. 2025.
- KOPPENHÖFER, A. M.; FUZY, E. M. Effect of soil type on infectivity and persistence of the entomopathogenic nematodes *Steinernema scarabaei*, *Steinernema glaseri*, *Heterorhabditis zealandica*, and *Heterorhabditis bacteriophora*. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 92, n. 1, p. 11–22, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jip.2006.02.003>. Acesso em: 1 abr. 2025.
- LANKIN, G. et al. Soil texture, infective juvenile concentration, and soil organic matter influence the efficacy of *Steinernema feltiae*. *Journal of Nematology*, v. 52, p. 1–11, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.21307/jofnem-2020-007>. Acesso em: 19 fev. 2025.
- LEITE, L. G. et al. Screening of entomopathogenic nematodes (Nemata: Rhabditida) and the efficiency of *Heterorhabditis* sp. against the sugarcane root spittlebug *Mahanarva fimbriolata* (Fabricius) (Hemiptera: Cercopidae). *Neotropical Entomology*, v. 34, p. 785–790, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2005000500010>. Acesso em: 11 jan. 2025.
- LEWIS, E. E. et al. Host-Finding and Invasion by Entomopathogenic and Plant-Parasitic Nematodes: The Role of CO<sub>2</sub>. In: LEWIS, E. E.; GILL, S. A.; LEWIS, W. J. (eds.) *Biochemical Interactions in Nematode Ecology and Management*. CABI Publishing, 2006. p. 49–65.
- LI, X. et al. An iron-binding protein of entomopathogenic fungus suppresses the proliferation of host symbiotic bacteria. *Microbiome*, v. 12, n. 202, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40168-024-01928-4>. Acesso em: 1 fev. 2025.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. Diretrizes nacionais para a vigilância em saúde de populações expostas a agrotóxicos. Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2016.

MIRANDA, G. et al. SIG em manejo integrado de pragas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 4, p. 345–356, 2015.

MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. Controle biológico de doenças de plantas no Brasil. In: MORANDI, M. A. B.; BETTIOL, W. (orgs.). *Biocontrole de doenças de plantas: uso e perspectivas*. Jaguariúna, SP: Embrapa Meio Ambiente, 2009. p. 7–14.

NAVARRETE, A. A. et al. Zinc concentration affects the functional groups of microbial communities in sugarcane-cultivated soil. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 236, p. 187–197, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.12.009>. Acesso em: 23 abr. 2025.

NEGRISOLI JUNIOR, A. S. Nematóides entomopatogênicos: produção, aplicação e potencial de uso no controle biológico. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 10, n. 1, p. 147–158, 2015.

RITZINGER, C. H. S. P.; FANCELLI, M.; RITZINGER, R. Nematoides: bioindicadores de sustentabilidade e mudanças edafoclimáticas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 42, n. 5, e125, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-29452020125>.

RODRIGUES, M. et al. Integração de mapas de solo e ocorrência de organismos. *Revista de Geografia*, v. 30, n. 2, p. 99–110, 2018.

RUIZ, S. et al. The entomopathogenic fungus *Metarhizium brunneum*: a tool for alleviating Fe chlorosis. *Plant and Soil*, v. 406, p. 295–310, 2016.

SANTOS, L. C. dos. Efeito do cobre na população de bactérias e fungos do solo, associação ectomicorrízica e no desenvolvimento de mudas de eucalipto e canafístula. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/5549>. Acesso em: 23 abr. 2025.

SCHRODER, J. L.; FOUSS, J. L. Effect of sulfur applications on soil pH and phosphorus availability in soils of the southeastern United States. *Soil Science Society of America Journal*, v. 56, n. 5, p. 1683–1689, 1992.

SCHULTE, E. E.; KELLING, K. A. *Soil calcium-to-magnesium ratios—Should you be concerned?* Michigan State University Extension, 14 nov. 2016. Disponível em: [https://www.canr.msu.edu/news/soil\\_calcium\\_to\\_magnesium\\_ratios\\_should\\_not\\_concern\\_most\\_farmers](https://www.canr.msu.edu/news/soil_calcium_to_magnesium_ratios_should_not_concern_most_farmers). Acesso em: 15 jan. 2025.

SILVA, F. et al. Análise de densidade de pontos em nematoides. *Nematologia Brasileira*, v. 43, p. 67–75, 2019.

SILVA, J. A. R. Ecologia de nematoides entomopatogênicos em solos tropicais. 2021. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2021.

STILL, C. J. et al. How does soil structure affect water infiltration? A meta-data systematic review. *Soil & Tillage Research*, v. 226, p. 105577, fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105577>. Acesso em: 09 dec. 2024.

STROMBERGER, J. A.; TSAI, C. Y.; HUBER, D. M. Interactions of potassium with nitrogen and their influence on growth and yield potential in maize. *Journal of Plant Nutrition*, v. 17, n. 1, p. 19-37, 1994.

TA-OUN, P.; EHLERS, R.-U.; NIMKINGRAT, P. Effects of soil texture and moisture on the host-searching abilities of *Steinernema siamkayai* against *Bactrocera latifrons*. *Nematology*, v. 24, n. 5, p. 559–570, fev. 2022. DOI: 10.1163/15685411-bja10151. Acesso em: 15 jan. 2025.

TEIXEIRA, P. et al. Mapeamento de atributos do solo via geotecnologias. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 41, n. 3, p. 567–578, 2017.

TORR, P. et al. The influence of soil type and moisture on the activity of entomopathogenic nematodes. *Nematology*, v. 6, n. 3, p. 403–412, 2004.

VOSS, M. Interações entre nematoides entomopatogênicos e outros agentes de controle biológico. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 4, n. 1, p. 321–327, 2009.

WANG, N.; ZHANG, T. Soil pore structure and its research methods: A review. *Soil & Water Research*, v. 19, n. 1, p. 1–24, fev. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.17221/64/2023-SWR>. Acesso em: 22 jan. 2025

WILSON, M.; GAUGLER, R. Factors limiting short-term persistence of entomopathogenic nematodes. *Journal of Applied Entomology*, v. 128, n. 4, p. 250-253, 2004.

WHITE, G. F. A method for obtaining infective nematode larvae from cultures. *Science*, v. 66, n. 1709, p. 302–303, 1927.