

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel

Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade



Dissertação

**Comunidades de fitonematoides nas culturas do tabaco e macieira no Sul do
Brasil**

Eduarda Kalena Kirsch de Ramos

Pelotas, 2022

Eduarda Kalena Kirsch de Ramos

**Comunidades de fitonematoides nas culturas do tabaco e macieira no Sul do
Brasil**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade da Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências (área de conhecimento: Fitossanidade).

Orientador: Prof. Dr. Jerônimo Vieira de Araújo Filho

Pelotas, 2022

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

R175c Ramos, Eduarda Kalena Kirsch De

Comunidades de fitonematoides nas culturas do tabaco e macieira no Sul do Brasil / Eduarda Kalena Kirsch De Ramos ; Jerônimo Vieira de Araújo Filho, orientador. — Pelotas, 2022.

82 f. : il.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, 2022.

1. *Malus domestica*. 2. *Meloidogyne*. 3. *Nicotiana tabacum*. 4. *Pratylenchus*. 5. Taxonomia. I. Araújo Filho, Jerônimo Vieira de, orient. II. Título.

CDD : 632.3

Banca examinadora:

Dr. Jansen Rodrigo Pereira Santos
(Centro de Ciências Rurais - UFSM)

Dr. Leandro José Dallagnol
(FAEM/DFS UFPel)

Dr. Mauro Ferreira Bonfim Júnior
(Epagri – Estação Experimental de Urussanga)

Jerônimo Vieira de Araújo Filho, Dr. (Orientador)
(FAEM/DFS UFPel)

Ao meu avô Breno,

Dedico e ofereço.

Agradecimentos

À Universidade Federal de Pelotas e a Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel”, por poder cursar o Mestrado em Fitossanidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo fornecimento da bolsa.

Ao orientador Jerônimo Vieira de Araújo Filho, por toda paciência e dedicação com os projetos que participei e principalmente pelo incentivo e reconhecimento durante todo o processo, mesmo com os empecilhos durante o período pandêmico.

Aos professores da Fitossanidade pelo esforço para que nosso aprendizado não fosse tão prejudicado, mesmo com a impossibilidade de aulas presenciais.

Ao meu colega de laboratório, o pós-doutorando Paulo, que ajudou com a manutenção das populações, com os protocolos e com as coletas no Rio Grande do Sul.

Aos estagiários Mayara, Matheus e Nisha pela parceria. Principalmente agradeço a Mayara e o Matheus, porque além de me ajudarem tanto na reta final com as atividades deste projeto, ainda foram ótimas companhias e nos tornamos grandes amigos.

Ao Dallagnol e ao Bruno pela ajuda com as coletas realizadas no Paraná.

A todos os produtores de tabaco e de maçã que abriram as suas propriedades para que o trabalho fosse realizado.

Agradeço à minha família (minha mãe, irmã e avó), pois todas as dificuldades que passamos foram primordiais para que eu escolhesse traçar esse caminho.

À minha mãe, Adriana, por ter me convencido a entrar na área agrônômica e toda preocupação com meu bem-estar.

À minha irmã Maria Gabriela, por cuidar dos meus pets como se fossem dela ao longo de todo o período que estive em Pelotas.

À minha vó Lúcia, por todo carinho, apoio e incentivo desde que decidir sair de casa.

Ao Duarte, por todos os conselhos e todo apoio que sempre me deu na vida acadêmica.

Ao Lenon, por ser tão compreensivo e por ter segurado a barra comigo na reta final do mestrado.

À Charlene, por ter me recebido tão bem na própria casa e por ter se tornado uma amiga que vou levar para vida.

À Larissa, pelos desabafos mútuos, pelas risadas e por me mostrar como “Pelotinhas” pode ser sim, muito bacana.

À Claudia e a Nice, que me acolheram com tanto carinho.

A todos os colegas e amigos que encontrei por aqui e tornaram essa jornada mais leve e feliz.

Muito obrigada!

Resumo

RAMOS, Eduarda Kalena Kirsch. **Comunidades de Fitonematoides nas culturas do tabaco e macieira no Sul do Brasil**. Orientador: Jerônimo Vieira de Araújo Filho, 2022. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Fitossanidade. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2022.

Entre outras culturas, destaca-se no Sul do Brasil, o tabaco e macieira. Não obstante, essas culturas ainda estão predispostas ao ataque de patógenos, como os fitonematoides (*Plant-Parasitic Nematodes* - PPNs), cujos danos devem ser melhor investigados. Diante deste cenário, o presente trabalho teve como objetivos: (i) identificar e quantificar os principais gêneros de PPNs incidentes em áreas cultivadas com tabaco e macieira do sul do Brasil; (ii) avaliar a relação entre fatores bioclimáticos, altitude, tipos de solos e a ocorrência dos PPNs e, ainda, (iii) caracterizar (morfológica e bioquimicamente) as espécies de *Meloidogyne* detectadas em áreas tabageiras e caracterizar (morfológica e morfometricamente) as espécies de *Pratylenchus* obtidas dos pomares de macieira. Em lavouras de tabaco foram identificados 7 gêneros de PPNs, *Meloidogyne* (100%), *Helicotylenchus* (100%), *Tylenchus* (92%), *Xiphinema* (75,67%), *Pratylenchus* (86%), *Paratylenchus* (16,21%) e *Mesocriconema* (10,81%). Nos pomares de macieira, *Pratylenchus* (95%), *Helicotylenchus* (95%), *Tylenchus* (90%), *Xiphinema* (90%) e *Mesocriconema* (21%). Em áreas tabageiras, a temperatura e precipitação anuais foram os fatores que mais influenciaram a abundância de PPNs. Nos pomares de macieira, a abundância de PPNs e dos gêneros sofreu influência da sazonalidade de temperatura, faixa anual de temperatura e temperatura média do trimestre mais úmido, enquanto a incidência não foi influenciada por fatores de temperatura, precipitação e altitude. As espécies *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. incognita* foram predominantes na cultura do tabaco, havendo a presença de *M. hispanica* (ainda não relatada na cultura) e um fenótipo de esterase atípico. Na cultura da macieira, foi possível identificar duas espécies de *Pratylenchus*, *P. zae* e *P. penetrans*; esta última até então não relatada na cultura em território brasileiro. São vários os PPNs incidentes em ambas as culturas avaliadas (*Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, *Tylenchus*, *Xiphinema* e *Mesocriconema*), em frequências e abundâncias variáveis. As variáveis bioclimáticas de temperatura média anual e precipitação anual, de forma geral, são aquelas que exercem maior influência sobre a abundância dos principais PPNs em tabaco e macieira. A verificação de mais de uma espécie dos gêneros de maior importância para cada cultura (*Meloidogyne* – tabaco e *Pratylenchus* – macieira) demonstram a importância de uma análise criteriosa para a diagnose e elaboração de plano de manejo e controle corretos.

Palavras-chave: *Malus domestica*, *Meloidogyne*, *Nicotiana tabacum*, *Pratylenchus*, Taxonomia

Abstract

RAMOS, Eduarda Kalena Kirsch. **Plant-parasitic nematodes communities in tobacco and apple crops in southern Brazil**. Advisor: Jerônimo Vieira de Araújo Filho. 2022. 85p. Dissertation (Master degree) - Crop Protection Graduate Program. Federal University of Pelotas, Pelotas, 2022.

Among other crops, tobacco and apple trees in Southern Brazil stand out. However, like other crops, these plants are attacked by pathogens such as Plant-Parasitic Nematodes (PPNs), whose damage should be better investigated. In view of this, the current study aimed to: (i) identify and quantify the major PPNs occurring in areas cultivated with tobacco and apple trees in the southern Brazil; (ii) to evaluate the relationship between bioclimatic, altitude, and types of soil and the occurrence of PPNs and, still, (iii) to characterize (morphologically and/or biochemically) the *Meloidogyne* species detected from tobacco growing areas and to characterize (morphologically and morphometrically) the *Pratylenchus* species obtained from the apple orchards. In tobacco crops, 7 genera of PPNs were identified, *Meloidogyne* (100%), *Helicotylenchus* (100%), *Tylenchus* (92%), *Xiphinema* (75.67%), *Pratylenchus* (86%), *Paratylenchus* (16.21%) and *Mesocriconema* (10.81%). In apple orchards, *Pratylenchus* (95%), *Helicotylenchus* (95%), *Tylenchus* (90%), *Xiphinema* (90%) and *Mesocriconema* (21%). In tobacco areas, annual temperature and precipitation were those that established the greatest influences on the abundance of PPNs and the genera. In the apple orchards sampled, the abundance of PPNs was still influenced by temperature seasonality, annual temperature range and average temperature of the wettest quarter, while the incidence was not influenced by temperature, precipitation and altitude factors. The species *M. javanica*, *M. arenaria* and *M. incognita* were predominant in the tobacco crop, with the presence of *M. hispanica* (not reported in the crop) and an atypical phenotype of esterase. In apple culture, it was possible to identify two species of *Pratylenchus*, *P. zaei* and *P. penetrans*; the latter not yet reported in the culture in the Brazil. There are several PPNs incident in both simultaneously cultures evaluated (*Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, *Tylenchus*, *Xiphinema* and *Mesocriconema*), in variable frequencies and abundances. The bioclimatic variables of average annual temperature and annual precipitation, in general, are those that exert the greatest influence on the abundance of the main PPNs in tobacco and apple trees. The verification of more than one species of the most important genera for each crop (*Meloidogyne* – tobacco and *Pratylenchus* – apple) expose the importance of a careful analysis for the diagnosis and elaboration of a correct management schedule and control.

Keywords: *Malus domestica*, *Meloidogyne*, *Nicotiana tabacum*, *Pratylenchus*, Taxonomy

Lista de Figuras

- Figura 1 Fenótipos de esterase (Est) detectados em populações de *Meloidogyne* coletadas em áreas de tabaco no Rio Grande do Sul alinhados aos respectivos padrões (J3): J3 = *M. javanica* (Rm: 1,0; 1,25; 1,35); A2 = *M. arenaria* (Rm: 1,2, 1.3); I2 = *M. incognita* (Rm: 1,2, 1.3); Hi3 = *M. hispanica* (Rm: 0,95, 1,05, 1,15) e F3 = *M. sp.* (0,85, 1,05, 1.15)..... 43
- Figura 2 Fotomicrografias das características morfológicas de fêmeas de *Pratylenchus zaeae* identificadas em pomares de maçã no Paraná e Rio Grande do Sul. A: Corpo inteiro, B: região anterior do corpo, C: região posterior do corpo, D: região da vulva, E, F, G, H: variações na morfologia da cauda..... 67
- Figura 3 Fotomicrografias das características morfológicas de machos de *Pratylenchus penetrans* identificados em pomares de maçã no Paraná e Rio Grande do Sul. A: Corpo inteiro, B: região anterior do corpo, C: região posterior do corpo..... 68
- Figura 4 Fotomicrografias das características morfológicas de fêmeas de *Pratylenchus penetrans* identificadas em pomares de maçã no Paraná e Rio Grande do Sul. A: Corpo inteiro, B: região anterior do corpo, C: região posterior do corpo, D: região da vulva, E, F, G, H: variações na morfologia da cauda..... 69

Lista de Tabelas

Tabela 1	Localidade (município), espécies de <i>Meloidogyne</i> , coordenadas geográficas, altitude, cultivares e tipos de solo das amostras coletadas no centro-sul do Rio Grande do Sul.....	23
Tabela 2	Variáveis Bioclimáticas usadas nos Modelos de Distribuição de Nematoides extraídas a partir do <i>WordClim</i> dataset (www.worldclim.org/bioclim).....	29
Tabela 3	Frequência e abundância de fitonematoides em amostras (solo e raízes) provenientes de lavouras de tabaco do Rio Grande do Sul.....	32
Tabela 4	Abundância de PPNs em amostras (solo e raízes) provenientes de lavouras de tabaco do Rio Grande do Sul.....	33
Tabela 5	Modelos lineares generalizados (GLMs) usados para examinar as relações entre variáveis ambientais, abundância e incidência de fitonematoides (PPNs) para cada gênero [<i>Meloidogyne</i> (<i>Meloi</i>), <i>Pratylenchus</i> (<i>Praty</i>), <i>Helicotylenchus</i> (<i>Helic</i>), <i>Tylenchus</i> (<i>Tylen</i>), <i>Xiphinema</i> (<i>Xiphi</i>), <i>Paratylenchus</i> (<i>Parat</i>), <i>Mesocriconema</i> (<i>Mesoc</i>)].....	37
Tabela 6	Municípios, espécies de <i>Meloidogyne</i> , fenótipos de α -esterase e ocorrência observados em lavouras de tabaco do Rio Grande do Sul em diversas cultivares.....	40
Tabela 7	Localidade (município), coordenadas geográficas, altitude, tempo de cultivo, porta-enxertos e tipos de solo das amostras coletadas no Paraná e Rio Grande do Sul.....	48
Tabela 8	Variáveis Bioclimáticas usadas nos Modelos de Distribuição de Fitonematoides extraídas a partir do <i>WordClim</i> dataset (www.worldclim.org/bioclim).....	51
Tabela 9	Frequência e abundância (solo e raízes) de fitonematoides em amostras provenientes de pomares de macieira do Paraná e do Rio Grande do Sul.....	55

Tabela 10	Abundância de PPNs em amostras (solo e raízes) oriundas de pomares de macieira no Paraná e Rio Grande do Sul.....	56
Tabela 11	Modelos lineares generalizados (GLMs) usados para examinar as relações entre variáveis ambientais, abundância e incidência de fitonematoides (PPNs) para cada gênero [<i>Pratylenchus</i> (<i>Praty</i>), <i>Helicotylenchus</i> (<i>Helico</i>), <i>Tylenchus</i> (<i>Tylen</i>), <i>Xiphinema</i> (<i>Xiphi</i>), <i>Mesocriconema</i> (<i>Mesoc</i>)].....	59
Tabela 12	Espécies de <i>Pratylenchus</i> identificadas em pomares de macieira do Paraná e do Rio Grande do Sul.....	64
Tabela 13	Morfometria de espécies de <i>Pratylenchus</i> identificados nas amostras provenientes de pomares de macieira nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul.....	65

Sumário

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	14
2 CAPÍTULO I – Levantamento de fitonematoides (PPNs) da cultura do tabaco no Rio Grande do Sul com ênfase no gênero <i>Meloidogyne</i> Goeldi, 1887 (Meloidogynidae).....	20
2.1 Introdução.....	20
2.2 Material e Métodos.....	22
2.2.1 Amostragem, extração de espécimes e conceitos usados.....	22
2.2.2 Identificação e caracterização de espécies de <i>Meloidogyne</i>	27
2.2.3 Relações entre variáveis nematológicas (PPNs, incidência e abundância) e variáveis bioclimáticas.....	27
2.3 Resultados e Discussão.....	30
2.3.1 Levantamento de Fitonematoides (PPNs) em áreas produtoras de tabaco na região centro-sul do Rio Grande do Sul.....	30
2.3.2 Relações entre variáveis nematológicas (PPNs, incidência e abundância) e variáveis bioclimáticas.....	35
2.3.3 Caracterização morfológica e bioquímica das espécies de <i>Meloidogyne</i>	38
2.4 Conclusões.....	44
3 CAPÍTULO II – Levantamento de fitonematoides (PPNs) em pomares de macieira da região Sul do Brasil com ênfase no gênero <i>Pratylenchus</i> Filipjev, 1936 (Pratylenchidae).....	45
3.1 Introdução.....	45
3.2 Material e Métodos.....	47
3.2.1 Amostragem, extração de espécimes e conceitos usados.....	47
3.2.2 Relações entre parâmetros nematológicos, tipos de solo, altitude e variáveis bioclimáticas.....	50
3.2.3 Identificação e caracterização de populações de <i>Pratylenchus</i>	52
3.3 Resultados e discussão.....	52
3.3.1 Levantamento de fitonematoides (PPNs) em pomares de macieira nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul.....	52

3.3.2 Relações entre fitonematoides e tipos de solo, altitude e variáveis bioclimáticas.....	57
3.3.3 Caracterização morfológica e morfométrica das populações <i>Pratylenchus</i> em pomares de macieira do Paraná e Rio Grande do Sul.....	61
3.4 Conclusões.....	70
4 CONCLUSÕES GERAIS.....	71
REFERÊNCIAS.....	72

1 INTRODUÇÃO GERAL

A região sul do Brasil abrange os estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul e, como consequência do clima predominante classificado como Clima Temperado Quente (Cfb) e Clima Subtropical (Cfa) segundo Köppen (WREGE et al., 2012), propiciando o estabelecimento de culturas comerciais que se adaptam bem às temperaturas mais amenas. Dentre as culturas de destaque para a região estão o tabaco (*Nicotiana tabacum L.*) (AFUBRA, 2021) e a macieira (*Malus domestica Borkh.*) (FIORAVANÇO; SANTOS, 2013).

O tabaco, espécie filiada as solanáceas, trata-se de uma herbácea bianual ou perene, contendo de 1 a 3% de nicotina, motivo pelo qual é tão consumida de forma recreativa (HIRSCH; LANDAU, 2020). Esta cultura está presente em 128 países ao redor do mundo, distribuída em área correspondente a 4 milhões de hectares, sendo a produtividade média de aproximadamente de 1,5 T ha⁻¹ (GROXKO, 2020). O Brasil se destaca como o maior exportador, alcançando valores de venda de 1,64 bilhões de dólares durante a safra 2020 e, o segundo maior produtor responsável por 12,5% da produção mundial total (SINDITABACO, 2021). A região sul é responsável por 95% da produção de tabaco no país e quase 150 mil famílias atuam na atividade, a qual garante alto retorno financeiro aos produtores (AHRENS; LLANILLO; MILLÉO, 2011). Devido à alta lucratividade, garantia de comercialização para as indústrias regionais, fornecimento de crédito pelos bancos e o envolvimento de grande mão-de-obra, a modernização da cadeia impulsionou o setor tabageiro (NUNES, 2012). Destaca-se o estado do Rio Grande do Sul como maior produtor (AFUBRA, 2021), responsável por cerca de 47% da produção total do país (IBGE, 2020).

A macieira é uma rosácea (NACHTIGALL; FIORAVANÇO; HOFFMANN, 2009) e seu fruto está entre os mais consumidos no mundo todo (BUENO et al., 2021). A principal forma de consumo é fresca, mas também pode ser processada em bebidas, geleias e em outros alimentos (CABALLERO; FINGLAS; TOLDRÁ, 2015). O cultivo da macieira também é uma atividade de destaque para os estados do Sul e mantém o Brasil competitivo para o mercado externo (BUENO et al., 2021). Em 2020, a produção total da maçã ficou próxima a 1 milhão de toneladas (FAO, 2020). Bueno et al. (2021) assume que, após décadas de desenvolvimento tecnológico e de transformação na cadeia produtiva e qualidade alta da produção, o Brasil se apresenta

competitivo no mercado internacional e passou a exportar a fruta. Os mesmos autores ainda citam que no intervalo da safra 2017/2018 até 2019, o Brasil passou a exportar a 60 países, número 71% maior que o ano 2018. No ano de 2020 o Brasil produziu cerca de 1 milhão de toneladas de maçãs, em área cultivada de pouco mais de 32 mil hectares (FAO, 2022) e, na safra 2020/2021, o país ocupou 8º lugar no ranking mundial da produção e no consumo doméstico da fruta *in natura* (USDA, 2022).

Dentre os fatores determinantes do rendimento e qualidade das plantas estão as pragas e doenças (LIU; WANG, 2021), dessa forma, para o exercício da agricultura sustentável é essencial o monitoramento sanitário e correta diagnose das doenças quando presentes (SANKARAN, 2010).

A despeito da alta difusão e grande importância econômica da cultura do tabaco no sul (VIGNOLI-SILVA; MENTZ, 2005), a atuação de patógenos na planta pode diminuir a qualidade das folhas, acarretando em prejuízos aos agricultores (FERNANDES, 2009). Essas doenças podem surgir durante todo o desenvolvimento da planta, como as viroses, manchas foliares, murchas, podridões, “*damping-off*”, míldio, oídio e nematoses (GODOY; SALGADO, 2005), afetando a produtividade e qualidade do produto (OLIVEIRA; COSTA, 2012). Nesta mesma linha, em que pese com o avanço tecnológico e à adoção de práticas de manejo inovadoras, a macieira é predisposta a diversos problemas fitossanitários resultantes da ação de insetos e patógenos (KOVALESKI, 2004). Os pomares estão predispostos à doenças de parte aérea (*i.e* sarna-da macieira, podridões) e pelo “Problema de Replântio da Macieira” (*Apple Replant Disease - ARD*), enfermidade de etiologia complexa (SANHUEZA, 2004), a qual pode estar relacionada a ocorrência de fitonematoides (*Plant Parasitic Nematodes – PPNs*)

Há várias menções à PPNs em áreas de cultivo de tabaco pelo mundo. No Canadá, Olthof e Hopper (1973) encontraram *Pratylenchus penetrans* (Cobb, 1917) Filipjev e Stekhoven, 1941, *P. neglectus* (Rensch, 1924) Filipjev & Schuurmans Stekhoven, 1941, *P. crenatus* Loof, 1960, *Tylenchorhynchus* Cobb, 1913, *Paratylenchus* Micoletzky, 1922, *Tylenchus* Bastian, 1865, *Meloidogyne* Göeldi, 1892, e *Heterodera* Schmidt, 1871, distribuídos pela província de Ontario. Inagaki (1985) relatou a presença de *Meloidogyne hapla* Chitwood, 1949, *M. incognita* (Kofoid e White, 1919) Chitwood, 1949, *M. javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949, *P. coffeae* (Zimmermann, 1898) Filipjev & Schuurmans Stekhoven, 1941, e *Paratrachodorus minor* (Colbran, 1956) Siddiqi, 1974, na cultura em território japonês. Segundo Schmitt

e Barker (1988), *Heterodera glycyines* Ichinohe, 1952, e *Meloidogyne* sp. apresentaram altas densidades populacionais na Carolina do Norte, nos Estados Unidos. Na Espanha, Espárrago e Navas (1995) verificaram a presença de *M. arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949, *M. incognita*, *Helicotylenchus dihystra* (Coob, 1893) Sher, 1961, *H. vulgaris* Yuen, 1964, *P. crenatus*, *P. penetrans*, *P. thornei* Sher e Allen, 1953, e *P. vulnus* Allen & Jensen, 1951. Em Cuba, Pérez e Fernández (1998) afirmaram que foram encontrados nove gêneros de PPNs associados a tabaco (*Meloidogyne*, *Rotylenchulus* Linford & Oliveira, 1940, *Pratylenchus* Filipjev, 1936, *Helicotylenchus* Steiner, 1945, *Ditylenchus* Filipjev, 1936, *Tylenchorhynchus* Cobb, 1913, *Mesocriconema* Andrásy, 1965, *Trichodorus* Cobb, 1913, e *Aphelenchoides* Fischer, 1894).

Em relação à cultura da macieira, ARD é uma doença de relevância, causada usualmente por um complexo de espécies fúngicas, associado a ocorrência de espécies de *Pratylenchus* (MAZZOLA; MULLINIX, 2005). A guisa de exemplificação, estudos realizados na África do Sul demonstraram que oomicetos, fungos (menor frequência) e PPNs são potenciais agentes etiológicos (VAN SCHOOR; DENMAN; COOK, 2009). Espécies recorrentes na associação à ARD são oomicetos como *Phytophthora* Bary, 1876 e *Pythium* Pringsheim, 1858 e *Pythium irregulare* (Buisman) Uzuhashi, Tojo & Kakish., 2010, fungos como *Cylindrocarpon* Wollenw., 1913, além de PPNs, tais como *P. penetrans*, *P. scribneri* Steiner in Sherbakoff e Stanley, 1943, *P. delattrei* Luc, 1958, mesmo que em menor frequência (TEWOLDEMEDHIN et al., 2011). Conforme Deakin et al. (2019), a severidade da ARD é variável conforme os genótipos diferentes de porta-enxertos, porém, passados sete meses do plantio, as estruturas populacionais da microbiota se encontram estáveis, apesar das possíveis variações individuais de abundância relativa dos componentes microbianos. Essa doença, mencionada em todas as principais regiões frutícolas do mundo, é um empecilho relevante para o estabelecimento de novos pomares rentáveis em áreas anteriormente cultivadas com macieiras (MAZZOLA; MULLINIX, 2005). Segundo Deakin et al., (2019), a manifestação dos sintomas decorrentes da ARD tende a ocorrer após dois anos após o transplante.

Em relação aos PPNs, especificamente, a produção de frutícolas pode ser ameaçado por vários gêneros tais como *Pratylenchus* sp., *Xiphinema* sp. Cobb, 1913, *Meloidogyne* sp. *Helicotylenchus* sp., *Mesocriconema* sp. e *Tylenchulus* sp. Cobb, 1913 (POKHAREL, 2011). Trabalhos evidenciam a presença de PPNs em áreas de

cultivo de macieira ao redor do mundo e, algumas vezes, em níveis de abundância alarmantes. Sharma e Sen (2015) relataram a presença de *P. coffeae*, *Helicotylenchus dihystra*, *Paratylenchus sp.*, *Mesocriconema xenoplax* Raski, 1952, e *Hoplolaimus inducus* Sher, 1963, *Meloidogyne sp.*, *Xiphinema sp.* e *Tylenchus sp.* em pomares de diferentes distritos na Índia. De acordo com Vrain e Rousselle (1980), em diferentes municípios de Quebec (Canadá) relataram a incidência de diversos PPNs como *Pratylenchus sp.*, *X. americanum* Cobb, 1913, *Paratylenchus sp.*, *Helicotylenchus sp.*, *Meloidogyne sp.* e *Heterodera sp.*, em densidades muito variáveis. No Brasil poucos trabalhos foram efetuados. Em levantamento realizado na rizosfera de macieiras enxertadas em 'Marubakaido' em Pelotas/RS, Souza et al. (2017) afirmam que entre os principais PPNs estão *Helicotylenchus sp.*, *Xiphinema sp.*, *Pratylenchus sp.*, *Hemicycliophora sp.* de Man, 1921, *Tylenchorhynchus sp.*, *Longidorus sp.* Micoletzky, 1922, *Tylenchulus sp.*, *Hoplolaimus sp.* Daday, 1905 e *Meloidogyne sp.* No noroeste do Paraná, relatou-se a presença de *Pratylenchus brachyurus* (Godfrey, 1929) Filipjev & Schuurmans Stekhoven, 1941, em macieira (DIAS-ARIEIRA et al., 2010). Salienta-se a importância econômica que se dá a espécies de *Pratylenchus*, em especial as pomáceas, cujos sintomas são facilmente confundíveis com os aqueles induzidos por outros patógenos de solo (PINOCHET et al., 1996).

Souza et al. (2017) atestam que muitas vezes as perdas decorrentes à ação de PPNs é subestimada ou apontada como resultante de diversos fatores como estresses abióticos ou manejo inadequado. Esses patógenos não são percebidos até alcançarem danos significativos às plantas cultivadas, às vezes até comprometendo toda a planta, nos mais diversos países (FAVORETO et al., 2019). Os sintomas podem ser percebidos na parte aérea das plantas atacadas (como crescimento reduzido, clorose e queda na produtividade), resultado direto dos danos ocasionados ao sistema radicular, dificultando a absorção de água e nutrientes e facilmente confundidos com problemas de solo ou deficiências nutricionais (LUC; HUNT; MACHON, 1990). Dessa forma a busca por métodos acurados para o diagnóstico desses patógenos e o desenvolvimentos de atividades de pesquisa são indispensáveis (CARNEIRO; LIMA; CORREIA, 2017). Entretanto, os PPNs estão entre os organismos mais difíceis de identificar, tanto pelo tamanho microscópico como pelas dificuldades na observação de caracteres a nível específico (OLIVEIRA; MONTEIRO; BLOK, 2011), como formato e tamanho do corpo, número de anéis labiais, tipo de estilete, formatos de cauda e aspectos morfométricos (MAI; MULLIN, 1996).

A taxonomia clássica para caracterização de PPNs é a metodologia mais tradicional para a identificação, fundamentada na morfologia (OLIVEIRA; MONTEIRO; BLOK, 2011), ou seja, nos aspectos físicos desses microrganismos (BOGALE; BANIIYA; DIGENNARO, 2020). Entre os aspectos determinantes da técnica estão o formato da região anterior, número de anéis labiais, comprimento do corpo, comprimento do estilete e formato do bulbo, estrutura lateral, presença ou ausência e forma da espermateca, formato da cauda, forma e comprimento da espícula e gubernáculo (HANDOO; CARTA; SKANTAR, 2008). Essa metodologia é importante pela rapidez e baixo custo, permitindo avaliações quantitativas e qualitativas das populações para a criação de estratégias de controle e manejo de PPNs (OLIVEIRA; MONTEIRO; BLOK, 2011). Quando as diferenças entre espécies são evidentes, essa metodologia ainda é eficaz (HANDOO; CARTA; SKANTAR, 2008), entretanto, aspectos morfológicos podem ser variáveis diante de variações geográficas, espécie hospedeira, nutrição, atuação de fatores ambientais (CARNEIRO; LIMA; CORREIA, 2017). Tendo isso em vista, a ausência de variações evidentes entre táxons intimamente relacionados torna o processo bastante difícil e exige especialistas em taxonomia (BOGALE; BANIIYA; DIGENNARO, 2020; OLIVEIRA; MONTEIRO; BLOK, 2011).

As novas abordagens, do ponto de vista bioquímico e molecular tem ganhado visibilidade pela sua alta especificidade, entretanto, pode se fazer necessária a utilização da caracterização morfológica para a confirmação de resultados (ESBENSHADE; TRIANTAPHYLLOU, 1985; LEITE et al., 2020; OLIVEIRA; MONTEIRO; BLOK, 2011). Para *Meloidogyne*, por exemplo, há grande dificuldade para a diagnose acurada de por meio de aspectos morfológicos através da observação do padrão perineal das fêmeas (CARNEIRO; ALMEIDA; CARNEIRO, 1996). Essa técnica é de abordagem usualmente complexa, mesmo para taxonomistas experientes (CARNEIRO; ALMEIDA; QUÉNÉHERVÉ, 2000; COFCEWICZ et al., 2004). Devido à escassez de especialistas, há grande demanda pela identificação de patógenos por meio de protocolos mais objetivos (OLIVEIRA; MONTEIRO; BLOK, 2011). Carneiro, Almeida e Quénéhérvé (2000) evidenciam que, como alternativa à análise morfológica, há diferentes metodologias para caracterização bioquímica por meio da análise de fenótipos enzimáticos. A análise de fenótipos de esterase tem sido empregada em levantamentos extensos objetivando verificar a frequência e distribuição de espécies, detectar populações atípicas e/ou

purificar populações (CARNEIRO; COFCEWICZ, 2008; ESBENSHADE; TRIANTAPHYLLOU, 1985). Isso só é possível por consequência do alto polimorfismo da atividade enzimática da esterase (CARNEIRO; ALMEIDA; QUÉNÉHERVÉ, 2000).

A integração dessas técnicas para a identificação de PPNs tem se mostrado mais adequada do que a aplicação individual, haja vista que apresenta resultados mais consistentes e por também contribuir para bancos de dados nematológicos (CARNEIRO; LIMA; CORREIA, 2017). Além disso, ainda há relativamente poucos estudos dedicados a investigar a estrutura de comunidades de organismos do solo (ARCHIDONA-YUSTE et al., 2020). Tratando-se de comunidades de PPNs, geralmente são realizados experimentos que não enfatizam os diferentes fatores que possam interferir nas variações entre as comunidades (NEHER, 2010). Há fortes indícios de que além da relação com a planta hospedeira, as características do solo podem interferir na abundância, distribuição e na estrutura das comunidades de PPNs (DUYCK et al., 2012; KANDJI; OGOL; ALBRECHT, 2001), assim como variáveis climáticas e topográficas podem implicar em alguns padrões nessas comunidades em escala regional (DUYCK et al., 2012). As práticas agrônômicas e o manejo do solo também são influenciadoras da distribuição espacial e na diversidade de PPNs (NEHER, 2010; SÁNCHEZ-MORENO et al., 2009). A compreensão dos fatores de maior influência sobre as comunidades pode ser muito útil para que sejam traçadas estratégias de controle da doença (NEHER, 2010).

Em função do exposto, objetivou-se neste trabalho: (i) identificar e quantificar os principais PPNs incidentes em áreas cultivadas com tabaco e macieira no Sul do Brasil; (ii) avaliar a relação entre altitude, variáveis bioclimáticas, tipos de solo e a ocorrência do PPNs e, ainda, (iii) caracterizar (bioquimicamente) as espécies de *Meloidogyne* detectadas em áreas tabageiras e caracterizar (morfológica e morfometricamente) as espécies de *Pratylenchus* obtidas dos pomares de macieira. Coletivamente, espera-se que os resultados ora disponíveis, possam fornecer, subsídios para o manejo eficiente destes parasitas.

2 CAPÍTULO I – Levantamento de fitonematoides (PPNs) da cultura do tabaco no Rio Grande do Sul com ênfase no gênero *Meloidogyne* Goeldi, 1887 (Meloidogynidae)

2.1 Introdução

Atualmente, o Brasil é o segundo maior produtor de tabaco (*Nicotiana tabacum* L.) do mundo, respondendo por 12,5% da produção mundial em 2018 (FAO, 2021). O estado Rio Grande do Sul é o maior produtor e foi responsável por cerca de 41% da produção total do país (IBGE, 2020). Apesar desta atividade ser bastante difundida pela sua grande importância econômica para a indústria tabagista (VIGNOLI-SILVA; MENTZ, 2005), a atuação de fitopatógenos pode reduzir sobremaneira a qualidade das folhas, acarretando em prejuízos significativos (FERNANDES, 2009).

Em relação às nematoses, foram registrados danos relevantes em áreas infestadas por diversas espécies de fitonematoides (*Plant parasitic nematodes* – PPNs), a saber: *Meloidogyne arenaria* (Neal, 1889) Chitwood, 1949, *M. incognita* (Kofoid e White, 1919) Chitwood (1949), *M. javanica* (Treub, 1885) Chitwood (1949), *M. hapla* Chitwood (1949), espécies de *Pratylenchus* Filipjev, 1936, *Globodera* Skarbilovich, 1959, *Helicotylenchus* Steiner, 1945, entre outros (SHEPHERD; BARKER, 1990). Destes, o gênero *Meloidogyne* (*Root knot nematodes* – RKNs) é, sem dúvidas, o grupo de maior relevância (PÉREZ; FERNÁNDEZ, 1998), compreendendo mais de 90 espécies nominais (CARNEIRO; COFCEWICZ, 2008). Os RKNs são parasitas cosmopolitas (NICOL et al., 2011) e as espécies de maior ocorrência na cultura são *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. hapla*, causando danos de até 15% (GODOY; SALGADO, 2005). No sul do Brasil foram relatadas, recentemente, *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria*, *M. enterolobii* Yang e Eisenback, 1983, e *M. inornata* Lordello, 1956. Todavia, o referido trabalho contemplou principalmente regiões produtoras no oeste do Paraná e Santa Catarina (ARAÚJO FILHO et al., 2016).

Entre as dificuldades encontradas está a diagnose da espécie, a qual tem sido efetuada pela observação do padrão perineal das fêmeas ainda na atualidade (RASHIDIFARD et al., 2019), constituindo abordagem usualmente complexa, mesmo

para taxonomistas experientes (CARNEIRO; ALMEIDA; QUÉNÉHERVÉ, 2000; COFCEWICZ et al., 2004). Dessa forma, a análise bioquímica, sobretudo fenótipos de esterase, tem possibilitado a caracterização de RKNs (CARNEIRO; ALMEIDA; QUÉNÉHERVÉ, 2000) em levantamentos extensos objetivando verificar a frequência e distribuição de RKNs, detecção de populações atípicas e/ou purificar populações (CARNEIRO; COFCEWICZ, 2008; ESBENSHADE; TRIANTAPHYLLOU, 1985).

Em face das questões supramencionadas, no presente estudo objetivou-se: (i) realizar um levantamento da nematofauna em campos de tabaco na região centro-sul do Rio Grande do Sul, (ii) estudar a influência de variáveis bioclimáticas na distribuição de PPNs encontrados e, por fim, (iii) caracterizar (morfologicamente e bioquimicamente) as espécies de RKNs encontradas.

2.2 Material e Métodos

2.2.1 Amostragem, extração de espécimes e conceitos usados

No final da safra 2019/2020, entre o final de fevereiro e início de março, foram coletadas amostras em 37 propriedades de tabaco de municípios produtores (Arroio do Padre, Cristal, São Lourenço do Sul, Pelotas e Turuçu) na região centro sul do estado do Rio Grande do Sul (tab. 1). Para cada área foram coletadas, na profundidade de 0 – 20 cm de profundidade e em zigue-zague, aleatoriamente de 8 a 10 subamostras (solo rizosférico e raízes sintomáticas), as quais formaram a amostra composta (1 kg de solo e 200 g de raízes). Seguidamente, as amostras foram processadas visando a extração de PPNs. Para amostras de solo, a extração foi realizada pelo método de flotação-centrifugação em solução de sacarose proposto por Jenkins (1964). Resumidamente, após homogeneização da amostra, uma alíquota de 250 cm³ de solo foi submersa e a suspensão resultante submetida a peneiramento (20 e 400 mesh) e centrifugações subsequentes (1.800 rpm) (MACHADO; SILVA; FERRAZ, 2019). Para raízes, a extração foi realizada a partir da técnica baseada na trituração de alíquotas de raízes (cuidadosamente lavadas) seguida de flotação-centrifugação, também em solução de sacarose (COOLEN; D'HERDE, 1972). Desse modo, 10 g de raízes foram selecionadas, trituradas, e posteriormente submetidas ao peneiramento (de 20 e 500 mesh) e centrifugações (1.800 rpm). Os PPNs (solo e raízes) foram contabilizados sob microscópio óptico (aumento total de 40x e 100x) com auxílio da câmara de Peters e posteriormente foram obtidas as estimativas das densidades populacionais. Nas raízes, os ovos foram contabilizados e somados ao gênero *Meloidogyne* (largamente predominante).

A identificação (gênero) de PPNs foi efetuada a partir de aspectos morfológicos, tais como forma e tamanho do corpo e do estilete, número de anéis labiais, região esofagiana, posição da vulva e formato da cauda (MAI; MULLIN, 1996). As densidades populacionais serão referidas doravante como abundância (espécimes/250 cm³ de solo e espécimes/10 g de raízes) enquanto incidência (%) expressará a porcentagem do número de amostras com determinado taxon sobre o total de amostras (de solo e/ou de raízes), consoante Simon et al. (2018).

Tabela 1 – Localidade (município), coordenadas geográficas, cultivares, altitude e tipos de solo das amostras coletadas no centro-sul do Rio Grande do Sul.

Localidade (Município)	Código da amostra	Coordenadas Geográficas		Cultivares	Altitude (m)	Tipo de Solo ^a
		Latitude	Longitude			
Arroio do Padre	Labnema01	-31.444231	-52.37504	PVH2343	193.44	alisols
Arroio do Padre	Labnema02	-31.443611	-52.38144	DVH2001	193.44	alisols
Arroio do Padre	Labnema03	-31.444231	-52.39111	PVH2323	227.27	alisols
Arroio do Padre	Labnema04	-31.410731	-52.41773	CSC416	211.98	alisols
Arroio do Padre	Labnema05	-31.411111	-52.44072	CSC4704	198.87	alisols
Arroio do Padre	Labnema11	-31.453789	-52.47641	CSC416	276.79	alisols
Arroio do Padre	Labnema12	-31.422236	-52.35688	DM466	192.89	alisols
Arroio do Padre	Labnema13	-31.424206	-52.35609	ULT115	205.71	leptosols
Arroio do Padre	Labnema14	-31.437500	-52.33611	AOV506	134.11	alisols
Arroio do Padre	Labnema15	-31.438056	-52.33611	AOV507	196.85	acrisols
Arroio do Padre	Labnema18	-31.444444	-52.34667	PVH2261	234.23	acrisols

Tabela 1 – Localidade (município), coordenadas geográficas, cultivares, altitude e tipos de solo das amostras coletadas no centro-sul do Rio Grande do Sul.

Localidade (Município)	Código da amostra	Coordenadas Geográficas		Cultivares	Altitude (m)	Tipo de Solo ^a
		Latitude	Longitude			
Arroio do Padre	Labnema19	-31.444444	-52.34583	AOV212	98.291	acrisols
Cristal	Labnema20	-31.072222	-52.11667	CSC4704	66.467	acrisols
Cristal	Labnema23	-31.061111	-52.12389	PVH2261	51.326	acrisols
Cristal	Labnema24	-31.056111	-52.11111	PVH2299	57.999	acrisols
Cristal	Labnema25	-31.054167	-52.11389	PVH2233	46.565	acrisols
Cristal	Labnema26	-31.052778	-52.11167	PVH2233	43.487	acrisols
Cristal	Labnema27	-31.048022	-52.105	CSC4703	45.39	acrisols
Cristal	Labnema28	-31.054591	-52.11427	PVH2254	84.818	acrisols
Cristal	Labnema29	-31.052994	-52.11200	PVH2299	54.592	acrisols
Cristal	Labnema30	-31.043893	-52.09929	ULT138	72.155	acrisols
Pelotas	Labnema06	-31.432799	-52.47453	CSC413	262.16	alisols

Tabela 1 – Localidade (município), coordenadas geográficas, cultivares, altitude e tipos de solo das amostras coletadas no centro-sul do Rio Grande do Sul.

Localidade (Município)	Código da amostra	Coordenadas Geográficas		Cultivares	Altitude (m)	Tipo de Solo ^a
		Latitude	Longitude			
Pelotas	Labnema07	-31.426772	-52.49362	CSC416	271.72	alisols
Pelotas	Labnema08	-31.405572	-52.46062	K149	207.65	alisols
Pelotas	Labnema09	-31.463469	-52.49243	K326PVY- ULT138 ²	252.18	alisols
Pelotas	Labnema10	-31.463469	-52.49243	K326PVY	252.18	alisols
Pelotas	Labnema16	-31.436742	-52.31678	PVH2233	228.53	acrisols
Pelotas	Labnema17	-31.436525	-52.31672	CSC413	231.13	acrisols
São Lourenço do Sul	Labnema21	-31.068889	-52.12194	CSC708	73.449	acrisols
São Lourenço do Sul	Labnema22	-31.063181	-52.12454	CSC439	94.008	acrisols
São Lourenço do Sul	Labnema31	-31.222942	-52.11936	CSC4704	125.61	acrisols
São Lourenço do Sul	Labnema32	-31.222942	-52.11936	ULT142	125.61	acrisols
São Lourenço do Sul	Labnema33	-31.222819	-52.12135	CSC4703	113.01	acrisols

Tabela 1 – Localidade (município), coordenadas geográficas, cultivares, altitude e Tipos de solo das amostras coletadas no centro-sul do Rio Grande do Sul.

Localidade (Município)	Código da amostra	Coordenadas Geográficas		Cultivares	Altitude (m)	Tipo de Solo ^a
		Latitude	Longitude			
São Lourenço do Sul	Labnema35	-31.1473	-52.3118	AOV212	181.16	alisols
São Lourenço do Sul	Labnema36	-31.1472	-52.3002	AOV212	134.01	alisols
São Lourenço do Sul	Labnema37	-31.263333	-52.49806	AOV212	342.29	leptosols
Turuçu	Labnema34	-31.478075	-52.19248	AVV405	38.856	planosols

^a Classificação taxonômica dos solos obtida da *World Reference Base for Soil Resources* (WRB), sistema universal reconhecido pela *International Union of Soil Science* (IUSS) e FAO.

¹ Área em que havia duas cultivares (K326PVY e ULT138) simultâneas no campo.

2.2.2 Identificação e caracterização de espécies de *Meloidogyne*

Para a manutenção das populações de RKNs, foram utilizadas plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Santa Clara e Santa Cruz, cultivados em vasos individuais contendo substrato junto à quantidade restante de amostras de campo de solo e raízes, mantidas em casa de vegetação. O cultivo de tomate garantiu a disponibilidade das populações ao longo dos 24 meses necessários para as análises morfológicas e bioquímicas.

A identificação morfológica de RKNs foi realizada por meio do preparo de lâminas visando a observação dos padrões perineais, consoante técnica descrita por Taylor e Netscher (1974). Para isso, fêmeas foram dissecadas diretamente das galhas (QUÉNÉHERVÉ et al., 2011) radiculares de plantas de tabaco e a região perineal de fêmeas (de 2 a 7 indivíduos) foram observadas em microscópio óptico para comparação com a literatura disponível (MACHADO; SILVA; FERRAZ, 2019). O número variável de observações (perineais) foi consequência da rápida degradação das amostras de campo após a coleta.

A caracterização bioquímica foi realizada a partir da observação de fenótipos de α -esterase (Est) (CARNEIRO; ALMEIDA, 2001). Para isto, pelo menos 8 fêmeas aleatórias de cada população foram dissecadas das raízes de tomate, adicionadas (individualmente) a 5 μ l de solução de extração, maceradas e os extratos proteicos resultantes foram transferidos para os poços em gel de poliacrilamida com empilhamento de 4% (pH 6,8) e gel de separação de 7,5% (pH 8,9) (ARAÚJO FILHO et al., 2016). A eletroforese foi realizada em unidade na cuba do vertical para minigel LOCCUS, modelo VERT-i10. Posteriormente, os géis foram revelados e a mobilidade relativa (R_m) calculada (OLIVEIRA; SANTOS; CASTRO, 2016). Três fêmeas do isolado de *M. javanica* (Est J3), previamente identificado, foi utilizado como padrão (BONFIM JUNIOR; INOMOTO; ARAÚJO FILHO, 2021).

2.2.3 Relações entre variáveis nematológicas (PPNs, incidência e abundância) e variáveis bioclimáticas

Todas as análises estatísticas foram realizadas usando software R 4.1.1 (R Development Core Team, 2021) e os pacotes *sdm* (NAIMI; ARAÚJO, 2016), *raster*

(HIJIMANS et al., 2020) e *dismo* (HIJIMANS et al., 2017). A partir das coordenadas geográficas (longitude e latitude), foram extraídos dados de 19 variáveis climáticas (tab.2), as quais estão incluídas no banco de dados do WordClim (<https://www.worldclim.org/>) (FICK; HIJIMANS, 2017). Em função da reconhecida significância biológica para PPNs, as variáveis preditoras BIO1 e BIO12 (temperatura média anual e precipitação anual, respectivamente) foram incluídos *a priori* no modelo completo (MÁRQUEZ et al., 2021) enquanto as demais foram selecionadas de modo a evitar colinearidade, baseando-se nos respectivos fatores de variância de inflação (*Variance Inflation Factor* – $VIF < 10$) (DORMANN et al., 2013). Seguidamente, modelos lineares generalizados (*Generalized linear models* – GLMs), envolvendo as variáveis bioclimáticas e PPNs (total e para cada gênero) foram selecionados conforme Critério de Informação de Akaike (*Akaike Information Criterion* – AIC) e valores de VIFs. Posteriormente, os GLMs selecionados para cada variável nematológica (PPNs, abundância e incidência) foram, então, submetidos a análise de variância (ANOVA).

Tabela 2 – Variáveis Bioclimáticas usadas nos Modelos de Distribuição de Fitonematoides extraídas a partir do *WorldClim* dataset (www.worldclim.org/bioclimate).

Variáveis	Descrições	Unidade
Bioclimáticas		
BIO1	Temperatura média anual	°C
BIO2	Intervalo médio diurno (média mensal (temperatura máxima - temperatura mínima))	°C
BIO3	Isotermalidade (BIO2/BIO7) (*100)	°C
BIO4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão das temperaturas * 100)	°C
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente	°C
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio	°C
BIO7	Faixa anual de temperatura (BIO5-BIO6)	°C
BIO8	Temperatura média do trimestre mais úmido	°C
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco	°C
BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente	°C
BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio	°C
BIO12	Precipitação anual	mm
BIO13	Precipitação do mês mais chuvoso	mm
BIO14	Precipitação do mês mais seco	mm
BIO15	Sazonalidade de precipitação (coeficiente de variação)	mm
BIO16	Precipitação do quarto mais úmido	mm
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco	mm
BIO18	Precipitação do quarto mais quente	mm
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio	mm

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Levantamento de Fitonematoides (PPNs) em áreas produtoras de tabaco na região centro-sul do Rio Grande do Sul

A quantidade total de PPNs (solo) variou consideravelmente conforme a localidade amostrada [Arroio do Padre ($19.279,17 \pm 12.444,69$), Cristal ($11.788,89 \pm 6.939,69$), Pelotas ($24.535,71 \pm 16.589,27$), São Lourenço do Sul ($13.106,25 \pm 7.492,68$) e Turuçu (38.250,00)]. Foram encontrados sete gêneros de PPNs nas amostras analisadas (tab.3), a saber: *Meloidogyne* (100%), *Helicotylenchus* (100%), *Tylenchus* (91,89%), *Xiphinema* (75,67%), *Pratylenchus* (86,49%), *Paratylenchus* (16,21%) e *Mesocriconema* (10,81%). No solo, os valores da abundância variaram entre 1.800 e 41.850 indivíduos/250 cm³ para *Meloidogyne*, 50 a 9.850 indivíduos/250 cm³ para *Helicotylenchus*, 100 a 5.650 indivíduos/250 cm³ para *Tylenchus*, 50 a 2.350 indivíduos/250 cm³ para *Xiphinema*, 50 a 1.950 indivíduos/250 cm³ para *Pratylenchus*, 50 a 1.200 indivíduos/250 cm³ para *Paratylenchus* e entre 50 a 250 indivíduos/250 cm³ para *Mesocriconema*. Nas raízes, a abundância novamente variou conforme o PPN em apreço, 150 a 38.750 indivíduos por 10 g para *Meloidogyne*, 50 e 6.000 indivíduos por 10 g para *Pratylenchus* e 50 a 950 indivíduos por 10 g para *Helicotylenchus*. Os valores de abundância foram muito variáveis (tab.4).

Os níveis populacionais de PPNs presentes anteriormente ao plantio podem ser um fator determinante para perdas futuras (PREMACHANDRA; GOWEN, 2015), considerando o limiar de dano econômico para os táxons de maior predominância na área. Limiares de dano podem ser definidos como o limite da densidade populacional de determinada praga em que o custo para o controle equivale ao dano causado (FERRIS, 1978). Em tabaco, estes limiares são baixos de modo que, entre 10 e 200 juvenis/1000 cm³ de solo, recomenda-se inclusão de cultivares resistentes e acima desse valor o uso de nematicidas é fundamental (SHEPHERD; BARKER, 1990). Tendo em vista que todas as amostras verificadas ultrapassaram esses níveis supracitados, com no mínimo 200 indivíduos/1000 cm³ de solo, a elaboração do plano de manejo mostra-se não apenas desejável, mas imprescindível. Ainda, Barker e Weeks (1991) afirmam que para *M. incognita*, especificamente, a partir de 1.250 ovos

em 500 cm³ de solo já são suficientes para prejudicar aspectos qualitativos da planta de tabaco como a diminuição dos níveis de nicotina, o que pode ser agravado em solos arenosos; este fato sugere, portanto, que danos já estão estabelecidos, pelo menos, em parte das áreas amostradas (Labnema24 e Labnema28), nas quais densidade superiores (5.725 e 17.621 indivíduos/500 cm³ de solo) foram encontradas.

Para *Pratylenchus*, os limiares de danos são bastante variáveis de acordo com a associação entre espécie fitoparasita e a planta hospedeira, oscilando entre 0,05 e 30 indivíduos/cm³ de solo (CASTILLO; VOVLAS, 2007). A espécie *P. brachyurus*, por exemplo, é capaz de causar danos a plantas de tabaco a partir de 1000 ovos e juvenis por planta (FERNANDES, 2009). Todavia, no que tange a outros PPNs, tais como *Helicotylenchus*, ainda não se tem conhecimento sobre os limiares de dano para a cultura. Salienta-se a importância da determinação específica e limiares de danos para este PPN no futuro próximo, haja vista sua elevada incidência e abundância nas localidades, o que pode representar, em teoria, risco em potencial à cultura.

Tabela 3 – Frequência e abundância de fitonematoides em amostras (solo e raízes) provenientes de lavouras de tabaco do Rio Grande do Sul.

Gêneros	Solo		Gêneros	Raízes	
	Frequência (%)	Densidade Populacional ^a		Frequência (%)	Densidade Populacional ^b
<i>Meloidogyne</i>	100%	14.734 (1.800 – 41.850)	<i>Meloidogyne</i>	100%	12.818 (150 – 38.750)
<i>Helicotylenchus</i>	100%	1.297 (50 – 9.850)	<i>Helicotylenchus</i>	56,76%	96 (50 – 950)
<i>Pratylenchus</i>	64,86%	162 (50 – 1.950)	<i>Pratylenchus</i>	70,27%	374 (50 – 6.000)
<i>Tylenchus</i>	91,89%	1.154 (100 – 5.650)			
<i>Xiphinema</i>	75,68%	223 (50 – 2.350)			
<i>Paratylenchus</i>	16,22%	49 (50 – 1.200)			
<i>Mesocriconema</i>	10,81%	11 (50 - 250)			

^a Número médio e Amplitude Geral de nematoides por 250 cm³ de solo

^b Número médio e Amplitude Geral de nematoides por 10 gramas de raízes

Tabela 4 – Abundância de fitonematoides em amostras (solo e raízes) provenientes de lavouras de tabaco do Rio Grande do Sul.

Código da Amostra	Abundância ^a									
	<i>Meloidogyne</i> *		<i>Helicotylenchus</i> *		<i>Pratylenchus</i> *		<i>Tylenchus</i>	<i>Xiphinema</i>	<i>Paratylenchus</i>	<i>Mesocriconema</i>
	Solo	Raízes	Solo	Raízes	Solo	Raízes	Solo	Solo	Solo	Solo
Labnema01	17.500	8.100	1.450	950	700	950	900	0	1.200	50
Labnema02	14.100	11.950	650	100	300	250	1.250	100	300	0
Labnema03	8.250	10.300	1.150	0	150	0	1.550	600	100	0
Labnema04	7.750	7.100	750	0	350	1.300	1.900	150	0	0
Labnema05	1.800	7.550	2.250	50	0	0	1.800	100	100	0
Labnema06	17.450	38.750	1.200	150	0	0	1.400	100	50	0
Labnema07	13.200	29.200	800	0	0	50	1.850	0	0	0
Labnema08	41.850	37.450	3.300	250	350	50	2.400	0	50	0
Labnema09	34.700	3.450	7.150	50	250	0	3.400	150	0	0
Labnema10	6.000	3.000	1.400	150	50	350	850	150	0	0
Labnema11	17.550	4.350	9.850	450	50	0	3.300	50	0	50
Labnema12	3.150	17.150	200	150	0	400	0	0	0	250
Labnema13	38.250	20.900	5.600	50	50	0	5.650	50	0	50
Labnema14	13.100	32.000	600	50	0	50	1.100	100	0	0
Labnema15	15.250	1.900	1.650	50	300	50	4.800	300	0	0
Labnema16	23.250	9.250	400	0	0	100	450	2.350	0	0
Labnema17	6.350	29.300	250	100	50	0	400	150	0	0
Labnema18	12.150	600	350	0	1.950	400	850	1.100	0	0
Labnema19	23.150	1.600	450	0	100	0	1.800	900	0	0
Labnema20	19.900	19.950	200	0	100	50	350	200	0	0
Labnema21	14.300	9.950	50	0	50	50	300	350	0	0

Tabela 4 – Abundância de fitonematoides em amostras (solo e raízes) provenientes de lavouras de tabaco do Rio Grande do Sul.

Código da Amostra	Abundância ^a									
	<i>Meloidogyne</i> *		<i>Helicotylenchus</i> *		<i>Pratylenchus</i> *		<i>Tylenchus</i>	<i>Xiphinema</i>	<i>Paratylenchus</i>	<i>Mesocriconema</i>
	Solo	Raízes	Solo	Raízes	Solo	Raízes	Solo	Solo	Solo	Solo
Labnema22	12.450	150	150	0	0	0	450	100	0	0
Labnema23	4.250	1.600	200	0	250	6.000	150	50	0	0
Labnema24	4.600	15.450	50	0	50	250	350	100	0	0
Labnema25	8.050	1.350	850	50	100	50	3.350	300	0	0
Labnema26	2.350	10.550	200	0	0	50	100	150	0	0
Labnema27	9.200	20.900	50	400	0	0	0	0	0	0
Labnema28	13.150	18.750	150	50	0	200	250	0	0	0
Labnema29	14.050	4.050	200	0	100	850	150	50	0	0
Labnema30	21.650	20.950	250	100	350	1.250	100	150	0	0
Labnema31	4.700	3.250	1.400	50	0	0	450	200	0	0
Labnema32	11.750	25.600	100	150	0	50	0	50	0	0
Labnema33	9.650	7.050	100	0	0	50	150	50	0	0
Labnema34	35.750	5.950	2.200	0	100	50	200	0	0	0
Labnema35	6.550	12.100	100	0	150	400	350	0	0	0
Labnema36	27.750	17.700	2.100	150	50	450	250	150	0	0
Labnema37	10.250	5.050	200	50	50	150	100	0	0	0

^a Número de indivíduos em 250 cm³ de solo ou 10 g de raízes de tabaco.

* Gêneros que foram frequentes em amostras de raízes (valores descritos na segunda coluna – lado direito).

2.3.2 Relações entre variáveis nematológicas (PPNs, incidência e abundância) e variáveis bioclimáticas

Na tab. 5 estão apresentados os modelos escolhidos após análise em função das variáveis resposta. O número total de PPNs foi influenciado negativamente por BIO1 e BIO12 ($p < 0.01$), ou seja, em áreas de maior temperatura média anual e precipitação, o número total de PPNs foi inversamente proporcional. Em relação aos valores de abundância, as interações foram variáveis, sendo que *Meloidogyne*, *Helicotylenchus* e *Xiphinema* foram influenciados negativamente por BIO1 e BIO12 enquanto *Tylenchus* e *Pratylenchus* foram influenciados por BIO1 (negativamente) e por BIO12 (positivamente) ($p < 0.01$). Todavia, essas mesmas variáveis não influenciaram *Paratylenchus* e *Mesocriconema*. Em trabalho realizado por Hamza et al. (2018), foram apresentados resultados dispare, indicando que ambientes mais áridos tenderam a favorecer a presença de indivíduos das famílias Meloidogynidae Criconematidae e Pratylenchidae em oliveiras. Este é um fato preocupante, visto que demonstra a alta adaptabilidade desses patógenos às condições climáticas e gama de hospedeiros.

No que se refere à incidência, por seu turno, não foram verificadas interações significativas para nenhum PPN. O tipo de solo foi desconsiderado da modelagem em razão da baixa variação das informações. A ausência de significância das variáveis bioclimáticas sobre a incidência e a baixa variação nos tipos de solo, podem ter sido consequência da proximidade geográfica dos locais de coleta, visto que todos estão em uma mesma região do estado do Rio Grande do Sul.

Fatores climáticos exercem, teoricamente, grande influência na estrutura das comunidades de PPNs, principalmente por resultar de aspectos biológicos desses organismos em resposta a perturbações no meio ambiente (HAMZA et al., 2018). É importante esclarecer que o banco de dados adotado se baseia em modelos climáticos regionais, o que indica que as variáveis bioclimáticas se restringem aos condições de temperatura, precipitação, pressão de vapor, velocidade do vento e radiação solar das localidades selecionadas (FICK; HIJMANS, 2017). Os resultados ora obtidos, alinham-se, pelo menos parcialmente, áqueles disponíveis na literatura, nos quais a relação positiva (diretamente proporcional) entre pluviosidade e

abundância para alguns PPNs tem sido documentado, conforme relatado por Fleming et al., (2016) e para *Pratylenchus* e *Tylenchus*, como descrito por Márquez et al., (2021). Ao que tudo indica, o fator temperatura tem apresentado relação negativa (inversamente proporcional) a todos os índices de abundância verificados no trabalho, assim como a pluviosidade para *Meloidogyne*, *Helicotylenchus* e *Xiphinema*. Isso pode ter ocorrido pela proximidade entre os locais de coletas, visto que todos os municípios se localizam na região centro-sul do RS. Todavia, salienta-se a importância de adicionar dados climáticos a estudos epidemiológicos dos principais PPNs para um melhor plano de manejo em áreas infestadas (MÁRQUEZ et al., 2021).

Tabela 5 - Modelos lineares generalizados (GLMs) usados para examinar as relações entre variáveis ambientais, abundância e incidência de fitonematoides (PPNs) para cada gênero [*Meloidogyne (Melo)*, *Pratylenchus (Praty)*, *Helicotylenchus (Helic)*, *Tylenchus (Tylen)*, *Xiphinema (Xiphi)*, *Paratylenchus (Parat)*, *Mesocriconema (Mesoc)*].

Modelos	Estrutura do Modelo Global	Modelo Escolhido	Função de ligação	VIF
1	PPNs ~ 1+BIO1+BIO12	PPNs ~ 1-BIO1 ^{***} - BIO12 ^{***}	Poisson (log)	5,21;5,21
2	<i>Ab-Melo</i> ~ 1+BIO1+BIO12	<i>Ab-Melo</i> ~ 1-BIO1 ^{***} - BIO12 ^{***}	Poisson (log)	5,24;5,24
3	<i>Ab-Helic</i> ~ 1+BIO1+BIO12	<i>Ab-Helic</i> ~ 1-BIO1 ^{***} - BIO12 ^{***}	Poisson (log)	4,47;4,47
4	<i>Ab-Tylen</i> ~ 1+BIO1+BIO12	<i>Ab-Tylen</i> ~ 1-BIO1 ^{***} + BIO12 [*]	Poisson (log)	4,42;4,42
5	<i>Ab-Xiphi</i> ~ 1+BIO1+BIO12	<i>Ab-Xiphi</i> ~ 1-BIO1 ^{***} - BIO12 ^{***}	Poisson (log)	4,82;4,82
6	<i>Ab-Praty</i> ~ 1 + BIO1+BIO12	<i>Ab-Praty</i> ~ 1-BIO1 ^{***} + BIO12 ^{***}	Poisson (log)	4,41;4,41
7	<i>Ab-Parat</i> ~ 1+BIO1+BIO12	<i>Ab-Parat</i> ~ 1-BIO1 ^{ns} -BIO12 ^{ns}	Poisson (log)	1,01;1,01
8	<i>Ab-Mesoc</i> ~ 1+BIO1+BIO12	<i>Ab-Mesoc</i> ~ 1-BIO1 ^{ns} -BIO12 ^{ns}	Poisson (log)	1,04;1,04
9	<i>Ab-Incid-Melo</i> ~ 1 + BIO1+BIO12	<i>Incid-Melo</i> ~ 1	Binomial (logit)	-
10	<i>Incid-Praty</i> ~ 1 + BIO1+BIO12+BIO2+BIO7	<i>Incid-Praty</i> ~ 1	Binomial (logit)	-
11	<i>Incid-Helic</i> ~ 1 + BIO1+BIO12	<i>Incid-Helic</i> ~ 1	Binomial (logit)	-
12	<i>Incid-Tylen</i> ~ 1 + BIO1+BIO12+BIO2+BIO7	<i>Incid-Tylen</i> ~ 1	Binomial (logit)	-
13	<i>Incid-Xiphi</i> ~ 1 + BIO1+BIO12	<i>Incid-Xiphi</i> ~ 1	Binomial (logit)	-
14	<i>Incid-Mesoc</i> ~ 1 + BIO1+BIO12	<i>Incid-Mesoc</i> ~ 1 - BIO1 ^{ns}	Binomial (logit)	-
15	<i>Incid-Parat</i> ~ 1+BIO1+BIO12	<i>Incid-Parat</i> ~ 1 - BIO1 ^{ns}	Binomial (logit)	-

Ab: Abundância; *Incid*: Incidência; **VIF**: Fatores de Inflação de Variação; (): ausente; (+) efeito positivo; (-) efeito negativo.

*** p < 0,01; ns p > 0,01. Variáveis bioclimáticas: BIO1 - temperatura média anual ; BIO2 - intervalo médio diurno (média mensal (temperatura máxima - temperatura mínima); BIO7 - faixa anual de temperatura (BIO5-BIO6); BIO12 - precipitação anual.

2.3.3 Caracterização morfológica e bioquímica de populações de *Meloidogyne*

A observação dos padrões perineais das fêmeas de *Meloidogyne* possibilitou a identificação de 29 populações; todavia, pela rápida degradação das amostras em vários casos menos de 5 fêmeas puderam ser devidamente caracterizadas. Destas, 11 delas (38%) apresentaram fêmeas de *M. javanica* e *M. arenaria* simultaneamente. Das demais populações, encontrou-se indivíduos de apenas uma espécie, 14 (48% do total) eram *M. javanica*, 2 *M. arenaria* (7%) e de 2 *M. incognita* (7%) de (tab. 6).

Os padrões perineais de *M. javanica* se mostraram semelhantes aos descritos por Rusinque et al. (2018), de aspecto arredondado, estrias laretais interrompidas por incisuras evidentes próximas à cauda e arco dorsal baixo. Em relação a *M. arenaria*, os padrões mostraram estrias de largura variável, arco dorsal baixo, acharado e de estrias lisas ou quase sem ondulações contínuas ou não até a cauda, havia a formação de “ombros” nas laterais do arco e canais dos fasmídios visíveis, muito próximos à descrição feita por Cliff e Hirschmann (1985). A identificação mais difícil foi relacionada aos padrões perineais de *M. incognita*, devido à alta variabilidade morfológica. Contudo, foi evidente a maior ondulação e irregularidade nas estrias.

Foi possível a caracterização bioquímica de 31 populações de *Meloidogyne*, visto que durante o período para a realização das análises (24 meses), algumas populações não foram recuperadas. Foram identificados cinco fenótipos de Est, típicos de quatro espécies distintas, são elas: *M. javanica* [Est J3 (*Rm*: 1,0; 1,25; 1,35)], *M. arenaria* [Est A2 (*Rm*: 1,2, 1.3)], *M. incognita* [Est I2 (*Rm*: 1,1, 1,2)] e *M. hispanica* [Est Hi3 (*Rm*: 0,95, 1,05, 1,15)], além de *M. sp.* [Est F3 (*Rm*: 0,85, 1,05, 1.15)], fenótipo atípico (Fig. 1). As populações estavam constituídas por uma espécie (61% de populações puras) ou duas espécies (39% de populações mistas) (tab.5).

Considerando as populações constituídas por apenas um fenótipo, 13 (68%) apresentaram *M. javanica*, 5 (26%) *M. arenaria* e 1 (5%) *M. incognita*. As demais 12 populações estavam compostas mistura de duas espécies, 9 (76%) apresentando *M. javanica* e *M. arenaria* e ainda, 1 (8%) apresentando *M. arenaria* e *M. incognita*. Dois fenótipos atípicos foram observados em duas populações mistas, a primeira contendo *M. javanica* e *M. hispanica*, essa última ainda não relatada na cultura do tabaco e a segunda contendo *M. incognita* e o fenótipo F3.

A espécie *M. javanica* foi predominante, ocorrendo em 90% das amostras. A segunda espécie mais frequente foi *M. arenaria* (48%), seguida de *M. incognita* (10%). A presença dessas três espécies coincide com trabalhos referentes ao tabaco, sendo frequente o aparecimento das mesmas no Sul do país (ARAÚJO FILHO et al., 2016). Neuschrank et al., (2019) também mencionam a presença de *M. javanica* e de *M. arenaria* em lavouras de tabaco do RS. Alguns levantamentos já realizados no estado relataram a prevalência de *M. javanica* e de *M. arenaria* outras plantas cultivadas de importância econômica para o estado como na soja (KIRSCH et al., 2016; MÁRQUEZ et al., 2021) e na videira (SOMAVILLA, 2011). Em levantamentos de áreas de cultivo de batata, destacou-se a incidência de *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. incognita* (MEDINA et al., 2017). A presença desses RKNs em diferentes culturas demonstra a ampla distribuição no estado, o que indica maior riscos infestações graves de perdas produtivas, considerando a alta polifagia desses patógenos. Além disso, há uma dificuldade de manejo, visto que a capacidade de parasitar diferentes culturas importantes para o RS restringe a gama de opções para a sucessão e a rotação de culturas.

Segundo Shava et al. (2018), *M. javanica* é uma das principais espécies causadoras de prejuízos ao tabaco no Zimbábue. Na China, coincidentemente, as espécies *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. incognita* estão entre as principais na cultura do tabaco (ZHENG et al., 2018). A espécie *M. incognita* pode ocasionar danos bastante sérios em raízes de tabaco (VOVLAS et al., 2004) e pode apresentar altos potenciais de dano, mesmo com a adoção de variedades resistentes (ARAÚJO FILHO et al., 2016). Em relação *M. hispanica*, a qual fora inicialmente relatada no Brasil em abóbora (*Cucurbita morchata* Duchesse ex. Lam.) e cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) (CARNEIRO; ALMEIDA; GOMES, 2004), não há relatos prévios para o tabaco sob condições naturais. Desse modo, baseando-se na bibliografia ora consultada, este é o primeiro registro deste PPN parasitando plantas de tabaco no Brasil.

Considerando o fenótipo Est F3 de Labnema28, foi possível observar semelhanças evidentes ao fenótipo descrito por Araújo Filho (2016), obtido de plantas de tabaco no estado do Paraná. Nesse fenótipo foram observadas 3 bandas, sendo uma isoforma bastante nítida e outras duas secundárias. Não se deve descartar a hipótese de que se trata de uma especiação críptica.

Tabela 6 – Municípios, espécies de *Meloidogyne*, fenótipos de α -esterase e ocorrência observados em lavouras de tabaco do Rio Grande do Sul em diversas cultivares.

Localidade (Município)	Código da Amostra	Espécies de <i>Meloidogyne</i>	Fenótipos de Esterase	Ocorrência ^a (%)	Cultivares
Arroio do Padre	Labnema01	<i>M. javanica</i> ¹	J3	100	PVH2343
Arroio do Padre	Labnema03	<i>M. javanica</i> ¹	J3	100	PVH2323
Arroio do Padre	Labnema11	<i>M. javanica</i> ¹	J3	100	CSC416
Arroio do Padre	Labnema12	<i>M. javanica</i> ²	J3	100	DM466
Arroio do Padre	Labnema13	<i>M. javanica</i> ¹	J3	100	ULT115
Arroio do Padre	Labnema14	<i>M. javanica</i> ¹	J3	100	AOV506
Arroio do Padre	Labnema15	<i>M. javanica</i> ¹	J3	100	AOV507
Cristal	Labnema20	<i>M. javanica</i> ²	J3	100	CSC4704
Cristal	Labnema23	<i>M. javanica</i> ¹	J3	100	PVH2261
Cristal	Labnema25	<i>M. javanica</i> ³	-	100	PVH2233
Cristal	Labnema29	<i>M. javanica</i> ²	J3	100	PVH2299
Cristal	Labnema30	<i>M. javanica</i> ³	-	100	ULT138
Pelotas	Labnema10	<i>M. javanica</i> ¹	J3	100	K326PVY
São Lourenço do Sul	Labnema21	<i>M. javanica</i> ³	-	100	CSC708

Tabela 6 – Municípios, espécies de *Meloidogyne*, fenótipos de α -esterase e ocorrência observados em lavouras de tabaco do Rio Grande do Sul em diversas cultivares.

Localidade (Município)	Código da Amostra	Espécies de <i>Meloidogyne</i>	Fenótipos de Esterase	Ocorrência ^a (%)	Cultivares
São Lourenço do Sul	Labnema22	<i>M. javanica</i> ²	J3	100	CSC439
São Lourenço do Sul	Labnema37	<i>M. javanica</i> ²	J3	100	AOV212
Arroio do Padre	Labnema05	<i>M. arenaria</i> ²	A2	100	CSC4704
Pelotas	Labnema07	<i>M. arenaria</i> ¹	A2	100	CSC416
Pelotas	Labnema08	<i>M. arenaria</i> ²	A2	100	K149
São Lourenço do Sul	Labnema33	<i>M. arenaria</i> ²	A2	100	CSC4703
Turuçu	Labnema34	<i>M. arenaria</i> ¹	A2	100	AVV405
Cristal	Labnema27	<i>M. incognita</i> ¹	I2	100	CSC4703
Arroio do Padre	Labnema02*	<i>M. javanica</i> ¹ ; <i>M. arenaria</i> ¹	J3 e A2	87 e 13	DVH2001
Arroio do Padre	Labnema04*	<i>M. javanica</i> ¹ ; <i>M. arenaria</i> ¹	J3 e A2	75 e 25	CSC416
Arroio do Padre	Labnema18*	<i>M. javanica</i> ³ ; <i>M. arenaria</i> ³	-	60 e 40	PVH2261
Arroio do Padre	Labnema19*	<i>M. javanica</i> ¹ ; <i>M. arenaria</i> ¹	J3 e A2	75 e 25	AOV212
Cristal	Labnema26*	<i>M. javanica</i> ¹ ; <i>M. arenaria</i> ¹	J3 e A2	75 e 25	PVH2233
Pelotas	Labnema06*	<i>M. javanica</i> ¹ ; <i>M. arenaria</i> ¹	J3 e A2	13 e 87	CSC413

Tabela 6 – Municípios, espécies de *Meloidogyne*, fenótipos de α -esterase e ocorrência observados em lavouras de tabaco do Rio Grande do Sul em diversas cultivares.

Localidade (Município)	Código da Amostra	Espécies de <i>Meloidogyne</i>	Fenótipos de Esterase	Ocorrência ^a (%)	Cultivares
Pelotas	Labnema09*	<i>M. javanica</i> ² ; <i>M. arenaria</i> ²	J3 e A2	13 e 87	K326PVY/ULT138
Pelotas	Labnema16*	<i>M. javanica</i> ¹ ; <i>M. arenaria</i> ¹	J3 e A2	25 e 75	PVH2233
Pelotas	Labnema17*	<i>M. javanica</i> ¹ ; <i>M. arenaria</i> ¹	J3 e A2	62 e 38	CSC413
São Lourenço do Sul	Labnema31*	<i>M. javanica</i> ³ ; <i>M. arenaria</i> ³	-	40 e 60	CSC4704
São Lourenço do Sul	Labnema35*	<i>M. javanica</i> ; <i>M. arenaria</i> ¹	J3 e A2	75 e 25	AOV212
São Lourenço do Sul	Labnema36*	<i>M. javanica</i> ³ ; <i>M. arenaria</i> ³	-	80 e 20	AOV212
Cristal	Labnema24*	<i>M. arenaria</i> ² ; <i>M. incognita</i> ²	A2 e I2	38 e 62	PVH2299
São Lourenço do Sul	Labnema32*	<i>M. javanica</i> ² ; <i>M. hispanica</i> ²	J3 e Hi3	25 e 75	ULT142
Cristal	Labnema28*	<i>M. incognita</i> ² ; <i>M. sp</i> ²	I2 e F3	67 e 33	PVH2254

^a A ocorrência foi calculada considerando o percentual de cada fenótipo identificado bioquimicamente e, caso não tenha sido realizada essa identificação, a proporção aplicada foi aquela observada na identificação morfológica.

* População mista, constituída de mais de uma espécie de *Meloidogyne*.

¹ População caracterizada bioquimicamente a partir de fenótipos de α -esterase e morfológicamente por padrões perineais das fêmeas. ² População caracterizada bioquimicamente a partir de fenótipos de α -esterase. ³ População caracterizada morfológicamente por padrões perineais das fêmeas.

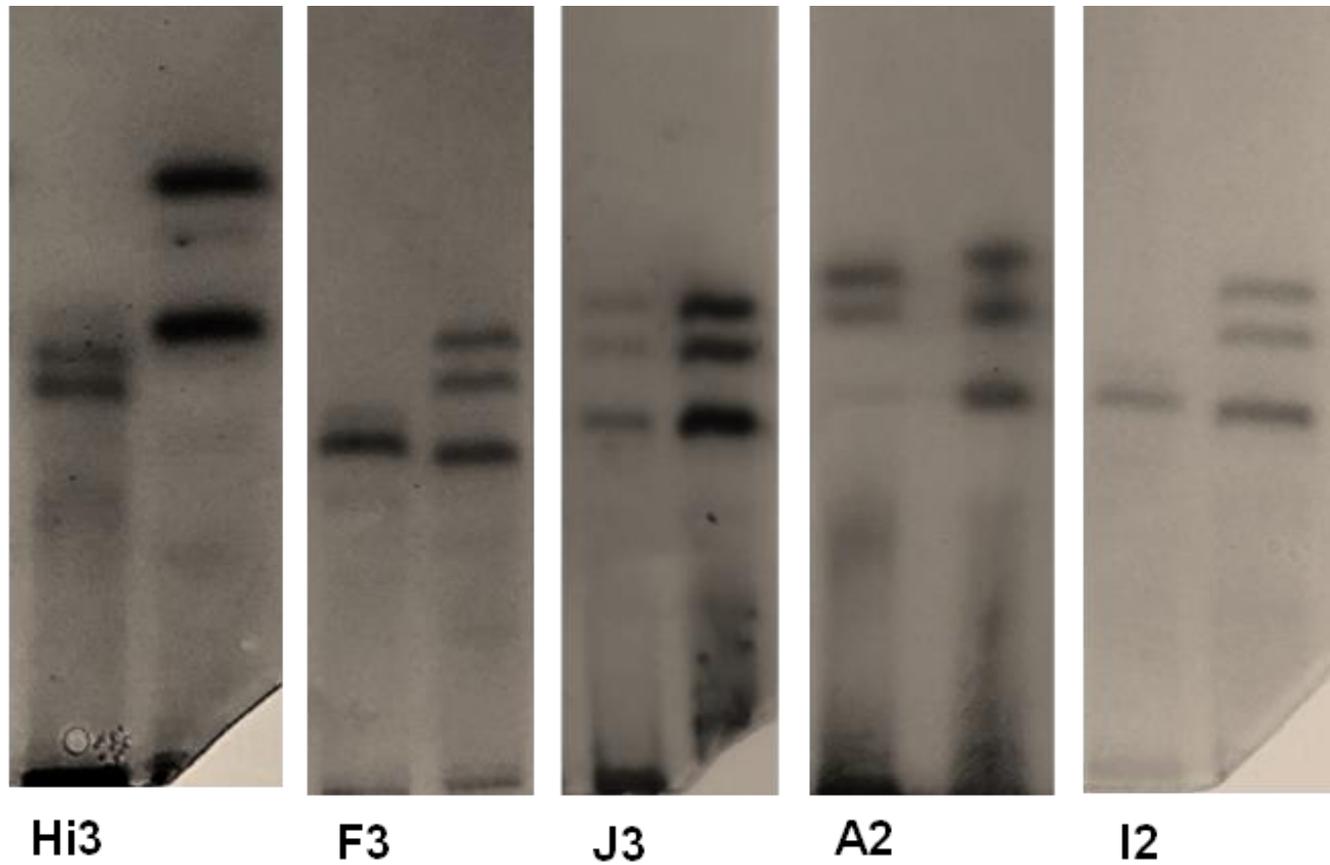


Figura 1 – Fenótipos de esterase (Est) detectados em populações de *Meloidogyne* coletadas em áreas de tabaco no Rio Grande do Sul alinhados aos respectivos padrões (J3): J3 = *M. javanica* (*Rm*: 1,0; 1,25; 1,35); A2 = *M. arenaria* (*Rm*: 1,2, 1.3); I2 = *M. incognita* (*Rm*: 1,2, 1.3); Hi3 = *M. hispanica* (*Rm*: 0,95, 1,05, 1,15) e F3 = *M. sp.* (0,85, 1,05, 1.15).

2.4 Conclusões

Em todos os municípios levantados houve ocorrência de majoritária de quatro gêneros de PPNs (*Meloidogyne*, *Helicotylenchus*, *Pratylenchus* e *Tylenchus*), além de *Xiphinema*, *Paratylenchus* e *Mesocriconema*, em menor frequência.

O gênero *Meloidogyne* foi, indubitavelmente, o gênero que apresentou os valores mais elevados de abundância.

Foi possível identificar três espécies de *Meloidogyne* comumente encontradas em tabaco (*M. javanica*, *M. arenaria* e *M. incognita*), *M. hispanica*, uma população bioquimicamente atípica, a qual exibe fenótipo Est F3.

O efeito de variáveis bioclimáticas variou consoante o PPN em estudo. De modo geral, BIO1 (temperatura média anual) e BIO12 (precipitação anual) afetaram negativamente os valores de abundância da maioria dos PPNs. Todavia, a incidência não foi influenciada significativamente por estas variáveis.

3 CAPÍTULO II – Levantamento de fitonematoides (PPNs) em pomares de macieira da região Sul do Brasil com ênfase no gênero *Pratylenchus* Filipjev, 1936 (Pratylenchidae).

3.1 Introdução

O cultivo da macieira (*Malus domestica* Borkh) é uma atividade de elevada importância econômica para o Sul do Brasil (FIORAVANÇO; SANTOS, 2013). De modo similar ao que ocorre para outras frutíferas de clima temperado, declínio de produtividade tende a ocorrer com o tempo, o que pode estar relacionado ao aumento da atividade de populações de patógenos de solo (LÜ; WU, 2018; MAZZOLA; MANICI, 2012; YIM; SMALLA; WINKELMANN, 2013). Archidona-Yuste et al. (2020) afirma que, em geral, ainda são escassos os estudos que visam determinar a estrutura populacional de organismos do solo. Sob este aspecto, Wallace e MacDonald (1979) afirmam, em levantamentos antigos, que diversos fitonematoides (*Plant parasitic nematodes* – PPNs) podem causar, isoladamente, prejuízos a cultura da macieira, tais como *Xiphinema americanum* (Cobb, 1913), *Hoplolaimus galeatus* (Cobb, 1913) Thorne, 1935, *Pratylenchus penetrans* (Cobb, 1917), *Tylenchorhynchus* Cobb, 1913, *Helicotylenchus* Steiner, 1945, e *Paratylenchus* Micoletzky, 1922.

Em relação à doenças de etiologia complexa, o conhecido “problema do replantio da macieira” (*Apple replant disease* – ARD) ocorre em áreas destinadas ao replantio de macieira e/ou espécies frutíferas próximas (WINKELMANN et al., 2019). A sintomatologia do ARD é deveras diversa, incluindo baixo crescimento, predisposição à outras doenças, crescimento desuniforme, raízes descoloridas (MAZZOLA; MANICI, 2012) e, via de regra, queda de produtividade e qualidade dos frutos (MAHNKOPP et al., 2018). A caracterização do ARD é atividade bastante complexa devido, sobretudo, à inconsistência dos estudos realizados, os quais necessitam da adoção de novas abordagens para a identificação do problema (MAZZOLA; MANICI, 2012; WINKELMANN et al., 2019). A ARD tem sido, historicamente, atribuída a fatores abióticos e bióticos, tais como oomicetos, fungos e PPNs (VAN SCHOOR; DENMAN; COOK, 2009).

A despeito do assinalamento de diversos PPNs em áreas doentes (ARD), destacam-se, historicamente, espécies de *Pratylenchus*, máxime *P. penetrans*, *P. scribneri* Steiner, 1946, e *P. delattrei* Luc, 1958 (TEWOLDEMEDHIN et al., 2011). No

Brasil, em que pese a ocorrência da ARD (BONETI; RIBEIRO; KATSURAYAMA, 1999) e predominância de porta-enxertos suscetíveis a doença em regiões produtoras tradicionais (RUFATO et al., 2021), estudos nematológicos não têm sido efetuados recentemente, restringindo-se apenas a assinalamentos de caráter pontual, nos quais identificou *P. brachyurus* (DIAS-ARIEIRA et al., 2010). Este panorama não apenas inviabiliza o manejo da síndrome como poderá acarretar, em médio ou longo prazo, na inutilização de inúmeras áreas de cultivo.

Em vista do exposto, objetivou-se neste trabalho: (i) identificar e quantificar os principais gêneros de PPNs associados à áreas de cultivo de macieira nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul; (ii) investigar as relações entre tipos de solo, altitude, variáveis bioclimáticas e a ocorrência de PPNs e, por fim, (iii) caracterizar, morfológica e morfometricamente, as populações de *Pratylenchus* encontradas. Este é o primeiro estudo acerca da ocorrência de PPNs associados especificamente a cultura da macieira no estado do Paraná e as relações com variáveis edafoclimáticas.

3.2 Material e Métodos

3.2.1 Coleta de amostras, extração de espécimes e conceitos usados

Foram amostradas (solo e raízes) em 19 áreas de macieira no Paraná (Palmas e Guarapuava) e Rio Grande do Sul (Arroio do Padre e Pelotas) (tab.7). Cada amostra (0,5 kg de solo e 50 g de raízes) foi constituída de 10 subamostras, coletadas arbitrariamente (zigue-zague), na profundidade de 0 - 25 cm (rizosfera) de dez macieiras ao longo do pomar e simultaneamente fragmentos de raízes dessas plantas. Excepcionalmente não houve coleta de raízes em uma das localidades em Palmas (Labnema40), devido ao plantio recente das mudas. As amostras foram subsequentemente transportadas para o Laboratório de Nematologia da Universidade Federal de Pelotas.

A extração de nematoides do solo foi realizada pelo método de flotação-centrifugação, proposto por JENKINS (1964). Para isto, aliquotas de 250 cm³ foram homogeneizadas e a suspensão resultante submetida a peneiramento (20 e 400 mesh) e centrifugação (1.800 rpm) em solução de sacarose. Para raízes, a metodologia adotada foi a trituração seguida de flotação-centrifugação descrita por Coolen e D'Herde (1972). Desse modo, 10 g de raízes, previamente lavadas e trituradas, foram submetidas a peneiramento (20 e 500 mesh) e centrifugação (1.800 rpm) com a adição de caulim. Os nematoides foram extraídos também com solução de sacarose (MACHADO; SILVA; FERRAZ, 2019).

As contagens dos espécimes foram efetuadas sob microscópio óptico (aumento total de 40x e 100x), com auxílio da câmara de Peters e, posteriormente, foram obtidas as estimativas das densidades populacionais. A identificação dos gêneros de PPNs, (grupos morfológicos) foi efetuada por meio da observação de caracteres morfológicos como forma e tamanho do corpo e do estilete, número de anéis labiais, região esofagiana, posição da vulva e formato da cauda (MAI; MULLIN, 1996). No caso de raízes, ovos contabilizados foram atribuídos ao gênero de maior predominância (*Pratylenchus*). Neste estudo, incidência (%) expressa a porcentagem do número de amostras com determinado taxon sobre o total de amostras. Doravante, as estimativas das densidades populacionais - seja no solo (espécimes por 250 cm³), seja raízes (espécimes por 10 g) - serão mencionadas como abundância, assim como Simon et al. (2018).

Tabela 7 – Localidade (município), coordenadas geográficas, altitude, tempo de cultivo, porta-enxertos e tipos de solo das amostras coletadas no Paraná e Rio Grande do Sul.

Localidade (Município)	Código da amostra	Coordenadas Geográficas		Altitude (m)	Tempo de cultivo (anos)	Porta- enxerto ^a	Tipo de Solo ^b
		Latitude	Longitude				
Palmas - PR	Labnema38	-26.47102	-51.98014	1105	12	M7	Cambisol
Palmas - PR	Labnema39	-26.47102	-51.98014	1105	12	M9	Cambisol
Palmas - PR	Labnema40	-26.52640	-52.03179	1084	30	M9	Cambisol
Palmas - PR	Labnema41	-26.52640	-52.03179	1084	30	M9	Cambisol
Palmas - PR	Labnema42	-26.52352	-51.99708	1123	22	M9	Cambisol
Palmas - PR	Labnema43	-26.52352	-51.99708	1123	22	Marubakaido	Cambisol
Palmas - PR	Labnema44	-26.52352	-51.99708	1123	22	M9	Cambisol
Palmas - PR	Labnema45	-26.51364	-51.93928	1084	20	M9	Cambisol
Palmas - PR	Labnema46	-26.51295	-51.94582	1084	20	M9	Cambisol
Palmas - PR	Labnema47	-26.51492	-52.01866	1083	31	M9	Cambisol
Palmas - PR	Labnema48	-26.57793	-51.92203	1077	28	Marubakaido	Cambisol

Tabela 7 – Localidade (município), coordenadas geográficas, altitude, tempo de cultivo, porta-enxertos e tipos de solo das amostras coletadas no Paraná e Rio Grande do Sul.

Localidade (Município)	Código da amostra	Coordenadas Geográficas		Altitude (m)	Tempo de cultivo (anos)	Porta-enxerto ^a	Tipo de Solo ^b
		Latitude	Longitude				
Palmas - PR	Labnema49	-26.57793	-51.92203	1077	28	M9	Cambisol
Palmas - PR	Labnema50	-26.56091	-51.61235	1308	34	Marubakaido	Cambisol
Palmas - PR	Labnema51	-26.56031	-51.61525	1299	33	Marubakaido	Cambisol
Palmas - PR	Labnema52	-26.56138	-51.60808	1297	36	Marubakaido	Cambisol
Guarapuava - PR	Labnema53	-25.56557	-51.56392	1068	15	M9	Cambisol
Guarapuava - PR	Labnema54	-25.56557	-51.56392	1068	15	M9	Cambisol
Arroio do Padre - RS	Labnema55	-31.41073	-52.44334	187	21	M9	Alisol
Pelotas - RS	Labnema56	-31.41555	-52.46609	286	20	M7	Alisol

^a Genótipos de porta-enxerto: M7 (*M. pumila* Miller), M9 (*M. pumila*) e Marubakaido (*M. prunifolia*).

^b Classificação taxonômica dos solos obtida da *World Reference Base for Soil Resources* (WRB), sistema universal reconhecido pela *International Union of Soil Science* (IUSS) e FAO.

3.2.2 Relações entre parâmetros nematológicos, tipos de solo, altitude e variáveis bioclimáticas

Todas as análises estatísticas foram realizadas usando software R 4.1.1 (R Development Core Team, 2021) e os pacotes *sdm* (NAIMI; ARAÚJO, 2016), *raster* (HIJMANS et al., 2020) e *dismo* (HIJMANS et al., 2017). A partir das coordenadas geográficas (longitude e latitude) obtidas para cada área, foi determinado o tipo de solo utilizando o software HWSD – Viewer (FAO, 2022) e 19 variáveis climáticas (tab.8) incluídas no banco de dados do WorldClim (<https://www.worldclim.org/>) (FICK; HIJMANS, 2017). Em função de sua reconhecida significância biológica para atividade de PPNs, as variáveis preditoras BIO1 e B12 foram incluídos *a priori* (MÁRQUEZ et al. 2021) no modelo completo enquanto as demais variáveis foram selecionadas, de modo a evitar colinearidade, baseando-se nos respectivos fatores de variância de inflação (*Variance Inflation Factor* – VIF<10) (DORMANN et al., 2013). Seguidamente, modelos lineares generalizados (*Generalized linear models* – GLMs), envolvendo tipos de solo, altitude, variáveis bioclimáticas e PPNs foram selecionados conforme Critério de Informação de Akaike (*Akaike Information Criterion* – AIC) e os VIFs. Os GLMs selecionados para cada variável (PPNs, abundância e incidência) foram, então, submetidos a análise de variância (ANOVA).

Tabela 8 – Variáveis Bioclimáticas usadas nos Modelos de Distribuição de Fitonematoides extraídas a partir do *WorldClim* dataset (www.worldclim.org/bioclim).

Variáveis	Descrições	Unidade
Bioclimáticas		
BIO1	Temperatura média anual	°C
BIO2	Intervalo médio diurno (média mensal (temperatura máxima - temperatura mínima))	°C
BIO3	Isotermalidade (BIO2/BIO7) (*100)	°C
BIO4	Sazonalidade da temperatura (desvio padrão das temperaturas * 100)	°C
BIO5	Temperatura máxima do mês mais quente	°C
BIO6	Temperatura mínima do mês mais frio	°C
BIO7	Faixa anual de temperatura (BIO5-BIO6)	°C
BIO8	Temperatura média do trimestre mais úmido	°C
BIO9	Temperatura média do trimestre mais seco	°C
BIO10	Temperatura média do trimestre mais quente	°C
BIO11	Temperatura média do trimestre mais frio	°C
BIO12	Precipitação anual	mm
BIO13	Precipitação do mês mais chuvoso	mm
BIO14	Precipitação do mês mais seco	mm
BIO15	Sazonalidade de precipitação (coeficiente de variação)	mm
BIO16	Precipitação do quarto mais úmido	mm
BIO17	Precipitação do trimestre mais seco	mm
BIO18	Precipitação do quarto mais quente	mm
BIO19	Precipitação do trimestre mais frio	mm

3.2.3 Identificação e caracterização de populações de *Pratylenchus*

Em função de historicamente ser o gênero de maior importância para cultura em apreço (MAZZOLA; MULLINIX, 2005; TEWOLDEMEDHIN et al., 2011), populações de *Pratylenchus* foram caracterizadas. Para a manutenção das populações de *Pratylenchus*, foram utilizadas plantas de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) 'BRS 506' e tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) 'Santa Clara' e 'Santa Cruz', os quais foram cultivados em substrato adicionado às amostras de campo de solo e raízes e, subsequentemente mantidas em casa de vegetação. Estas espécies vegetais foram selecionadas por serem bons hospedeiros de diversas espécies de *Pratylenchus* (CASTILLO; VOVLAS, 2007).

A extração dos espécimes foi realizada pelo método de Coolen e D'Herde (1972) para raízes e por Jenkins (1964) para o substrato. Lâminas semipermanentes (formalina) foram preparadas e fotomicrografias correspondentes obtidas no microscópio vertical Eclipse E200 e, por fim, as mensurações efetuadas pelo software BEL VIEW 7.1 (AKMIRZA; YARDIMCI, 2014) e Digimizer versão 5.7.2 (BARSI, 2020). Assim, foram mensurados os seguintes caracteres das fêmeas: comprimento do corpo (L), maior largura do corpo (I), distância da abertura da glândula dorsal esofágica aos nódulos basais do estilete (DGO), comprimento do estilete (E), distância da região labial até a vulva (RLV), comprimento da cauda (CC), distância da vulva ao ânus (VA) e largura do corpo na região anal (IA). No mais, foram calculados os índices de Man a (L/I), c (L/CC), c' (CC/IA) e $V\%$ [$(RLV/L)*100$]. Além disso, observou-se na região anterior do corpo, o número de anéis labiais e o formato do bulbo do estilete e na região posterior do corpo, a morfologia da cauda. A caracterização das espécies foi baseada principalmente em Castillo e Vovlas (2007) e Gonzaga (2006).

3.3 Resultados e discussão

3.3.1 Levantamento de fitonematoides (PPNs) em pomares de macieira nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul

Os valores de abundância para PPNs foram bastante variáveis (150 – 1.325 indivíduos/250 cm³ de solo). Considerando as 19 populações, foram assinalados cinco gêneros de PPNs filiados a cinco famílias (Hoplolaimidae, Pratylenchidae,

Criconematidae, Tylenchidae e Longidoridae), a saber: *Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, *Mesocriconema*, *Tylenchus* e *Xiphinema*. Espécimes de *Pratylenchus*, *Tylenchus* e *Mesocriconema* foram obtidos tanto de amostras de solo quanto raízes (tab.9 e tab.10). O gênero *Pratylenchus* destacou-se, com incidência de 95% e abundância variando de 50 a 425 indivíduos/250 cm³ (solo) e 150 a 8.525 indivíduos/10 g (raízes). Espécimes do gênero *Tylenchus* foram encontrados em 90% das áreas e densidades variáveis (25 a 325 indivíduos/250 cm³; 25 a 100 indivíduos/10 g). A incidência de *Mesocriconema* foi menor que os dois gêneros anteriormente citados, perfazendo cerca de 21% de incidência, oscilando entre 25 e 250 indivíduos/250 cm³ de solo e 25 indivíduos/10 g de raízes. A incidência de *Helicotylenchus* foi de 95% das amostras de solo (25 e 875 indivíduos/250 cm³) enquanto indivíduos pertencentes ao gênero *Xiphinema* foram encontrados em quase 90% das áreas (25 a 550 indivíduos/250 cm³).

A despeito da associação de diversos PPNs a pomares de macieira em todo o mundo, elevado potencial patogênico é frequentemente atribuído principalmente a espécies de *Pratylenchus* (CASTILHO; VOLVLAS, 2007), embora discorra sobre a variabilidade destas estimativas. Sob este aspecto, Seinhorst (1998) estimaram que o limiar de tolerância a *P. penetrans*, parasita difundidos em pomares das principais regiões produtoras do mundo, era de apenas 1.5 espécimes/g de solo. No mais, espécies de *Xiphinema* são responsáveis também, em adição a seu efeito direto, pela disseminação de importantes viroses, tais como *Tomato mosaic ring spot virus* (GEORGI, 1998).

O cenário nematológico aqui descrito alinha-se, na sua maioria, aqueles descritos na literatura mundial e nacional, nos quais o predomínio de espécies de *Pratylenchus* é frequente. No caso do Brasil, especificamente, *P. scribneri* fora detectada, inclusive parasitando plantas jovens, em amostras coligidas em Vacaria (RS) (MONTEIRO et al., 1987), *P. zae* Graham, 1951, e *P. pseudofallax* (descrição – espécie nativa) associados a *M. silvestres* (CAFÉ-FILHO; HUANG, 1988; CAFÉ-FILHO; HUANG, 1989). Mais recentemente, Dias-Arieira et al., (2010) encontrou *P. brachyurus* em pomares também do estado do Paraná. É importante salientar que em nenhuma das áreas visitadas houve relatos prévios de possíveis infestações por PPNs, mas é possível que a ARD já esteja presente em alguns locais. Deve-se considerar que em todos os pomares havia plantas de idades distintas, indicando que

houve a necessidade de substituição de plantas mais velhas. Ainda, foi possível verificar a presença de plantas subdesenvolvidas, mas sem aparente patologia ou injúria.

Tabela 9 – Frequência e abundância (solo e raízes) de fitonematoides em amostras provenientes de pomares de macieira do Paraná e do Rio Grande do Sul.

Solo			Raízes		
Gêneros	Frequência (%)	Abundância^a	Gêneros	Frequência (%)	Abundância^b
<i>Pratylenchus</i>	94.74%	173,7 (50 - 425)	<i>Pratylenchus</i>	94.74%	2.333 (150 - 8.525)
<i>Helicotylenchus</i>	94.74%	176,3 (25 - 875)	<i>Tylenchus</i>	10.53%	6,59 (25 – 100)
<i>Tylenchus</i>	89.47%	82,89 (25 - 325)	<i>Mesocriconema</i>	5.26%	25
<i>Xiphinema</i>	89.47%	152,6 (25 - 550)			
<i>Mesocriconema</i>	21.05%	19,74 (25 - 250)			

^a Número médio e Amplitude Geral de nematoides por 250 cm³ de solo.

^b Número médio e Amplitude Geral de nematoides por 10 gramas de raízes.

Tabela 10 – Abundância de PPNs em amostras (solo e raízes) oriundas de pomares de macieira no Paraná e Rio Grande do Sul.

Código da amostra	Abundância ^a							
	<i>Pratylenchus</i> *		<i>Tylenchus</i> *		<i>Mesocriconema</i> *		<i>Helicotylenchus</i>	<i>Xiphinema</i>
	Solo	Raízes	Solo	Raízes	Solo	Raízes	Solo	Solo
Labnema38	150	3.650	75	0	25	0	450	125
Labnema39	75	375	50	25	0	0	250	150
Labnema40	0	-	50	-	0	-	125	100
Labnema41	200	950	50	0	0	0	150	75
Labnema42	75	1.650	150	0	25	0	25	250
Labnema43	150	925	125	0	0	0	50	550
Labnema44	50	375	50	0	0	0	0	150
Labnema45	125	150	100	0	0	0	25	25
Labnema46	50	525	100	0	0	0	325	50
Labnema47	300	4.700	25	100	0	0	150	400
Labnema48	325	1.350	0	0	0	0	50	75
Labnema49	275	1.225	50	0	0	0	300	100
Labnema50	325	500	25	0	0	0	25	250
Labnema51	200	8.525	325	0	0	0	25	125
Labnema52	350	7.550	175	0	0	0	225	300
Labnema53	50	325	100	0	0	0	175	0
Labnema54	50	700	75	0	0	0	25	0
Labnema55	425	2.425	0	0	75	0	100	150
Labnema56	125	6.100	50	0	250	25	875	25

^a Número de indivíduos em 250 cm³ de solo ou 10 g de raízes de tabaco.

* Gêneros que foram frequentes em amostras de raízes (valores descritos na segunda coluna – lado direito).

3.3.2 Relações entre fitonematoides e tipos de solo, altitude e variáveis bioclimáticas

Este é o primeiro estudo acerca da ocorrência de PPNs associados especificamente a cultura da macieira no estado do Paraná e as relações com variáveis edafoclimáticas. Para cada variável resposta, os modelos selecionados estão expostos na tab.11. O número total de PPNs foi influenciado negativamente pelas variáveis BIO12 (precipitação anual), BIO8 (temperatura média do trimestre mais úmido) e positivamente por BIO7 (faixa anual de temperatura) ($p < 0.01$). Analisando cada gênero, a abundância de *Helicotylenchus*, *Xiphinema* e *Tylenchus*, sofreram influência negativa de BIO1 (média anual de temperatura) enquanto *Mesocriconema* foi influenciado positivamente. A variável BIO12 reduziu valores de abundância para *Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, *Tylenchus* enquanto incrementos foram observados para *Xiphinema* ($p < 0.01$). Em relação a BIO8, houve influência negativa para abundância de *Pratylenchus* e *Mesocriconema* e positiva para *Helicotylenchus*. As variáveis BIO7 e BIO4, influenciaram apenas *Helicotylenchus* (relação positiva) e *Tylenchus* (relação negativa), respectivamente. No que tange a influência das variáveis bioclimáticas e tipos de solo na incidência de PPNs, não foi observada nenhuma interação significativa, independentemente do gênero analisado. Aspectos climáticos apresentam grandes efeitos sobre a distribuição geográfica de comunidades de PPNs, visto que seu ciclo de vida apresentam faixas de temperatura ótimas, o que estabelece faixas geográficas ideais para essas comunidades (LUC; BRIDGE; SIKORA, 2005). A temperatura pode ser a principal determinante das estruturas populacionais de PPNs, no entanto, a umidade interfere na dinâmica dessas populações, em ciclos sazonais (NOE; SIKORA, 1990). Considerando modelos associados à incidência de cada gênero, as variáveis edafoclimáticas não apresentaram efeito significativo.

Os resultados do presente estudo alinham-se, pelo menos parcialmente, aqueles descritos na literatura, nos quais a elevada pluviosidade interferiu negativamente nas populações de PPNs (HAMZA et al., 2018) enquanto a elevação da temperatura não interferiu significativamente em nosso estudo. Esta incongruência em relação a esta tendência pode ser explicada pela pequena variabilidade de BIO1 nas localidades amostradas. Em relação ao tipo de solo, ao contrário de estudos

realizados em outros países (FLEMING et al., 2016), não houve influência para a abundância de PPNs. É possível afirmar ainda que a distribuição das plantas hospedeiras ainda pode ser o fator de maior relevância para o estudo de distribuição de táxons de PPNs (NOE, SIKORA, 1990). Coletivamente, estes resultados permitem teorizar acerca do impacto das mudanças climáticas nas comunidades de PPNs e, no caso específico de *Pratylenchus*, na incidência da ARD em pomares brasileiros.

Tabela 11 – Modelos lineares generalizados (GLMs) usados para examinar as relações entre variáveis ambientais, abundância e incidência de fitonematoides (PPNs) para cada gênero [*Pratylenchus* (*Praty*), *Helicotylenchus* (*Helic*), *Tylenchus* (*Tylen*), *Xiphinema* (*Xiphi*), *Mesocriconema* (*Mesoc*)].

Modelos	Estrutura do Modelo Global	Modelo Escolhido	Função de ligação)	VIF
1	PPNs ~ 1+BIO1+BIO12+BIO7+BIO8	PPNs ~ 1-BIO12***+BIO7***-BIO8***	Poisson (log)	2,42; 2,46; 1,45
2	<i>Ab-Helic</i> ~ 1+BIO1+BIO12+BIO7+BIO8	<i>Ab-Helic</i> ~1 -BIO1***-BIO12***+BIO7***+BIO8***	Poisson (log)	26,63; 69,93; 20,07; 14,43
3	<i>Ab-Praty</i> ~ 1+BIO1+BIO12+BIO8	<i>Ab-Praty</i> ~ 1-BIO12***-BIO8***	Poisson (log)	1,06; 1,06
4	<i>Ab-Xiphi</i> ~ 1+BIO1+BIO12	<i>Ab-Xiphi</i> ~ 1-BIO1***+BIO12***	Poisson (log)	1,09; 1,09
5	<i>Ab-Tylen</i> ~ 1+BIO1+BIO12+BIO3+BIO4	<i>Ab-Tylen</i> ~ 1-BIO1***-BIO12***-BIO4***	Poisson (log)	1,23; 1,20; 1,07
6	<i>Ab-Mesoc</i> ~ 1 + BIO1+BIO12+BIO8	<i>Ab-Mesoc</i> ~ 1 + BIO1*** - BIO8***	Poisson (log)	1,26; 1,26
7	<i>Incid-Praty</i> ~ 1+BIO1+BIO12+BIO4+BIO8	<i>Incid-Praty</i> ~ 1 - BIO12	Binomial (logit)	-

Tabela 11 – Modelos lineares generalizados (GLMs) usados para examinar as relações entre variáveis ambientais, abundância e incidência de fitonematoides (PPNs) para cada gênero [*Pratylenchus* (*Praty*), *Helicotylenchus* (*Helic*), *Tylenchus* (*Tylen*), *Xiphinema* (*Xiphi*), *Mesocriconema* (*Mesoc*)].

Modelos	Estrutura do Modelo Global	Modelo Escolhido	Função de ligação)	VIF
8	<i>Incid-Helic</i> ~ 1+BIO1+BIO12+Solo+BIO3+BIO4	<i>Incid-Helic</i> ~ 1	Binomial (logit)	-
9	<i>Incid-Tylen</i> ~ 1 + BIO1+BIO12+altitude	<i>Incid-Tylen</i> ~ 1 + BIO1-BIO12+altitude	Binomial (logit)	3,50; 1,65; 3,93
10	<i>Incid-Xiphi</i> ~ 1 + BIO1+BIO12+BIO3+BIO4+BIO7+BIO8	<i>Incid-Xiphi</i> ~ 1 + BIO3; <i>Incid-Xiphi</i> ~ 1 + BIO4; <i>Incid-Xiphi</i> ~ 1 + BIO7; <i>Incid-Xiphi</i> ~ 1 + BIO8	Binomial (logit)	-
11	<i>Incid-Mesoc</i> ~ 1 + BIO1+BIO12	<i>Incid-Mesoc</i> ~ 1	Binomial (logit)	-

Ab: Abundância no solo; *Incid*: Incidência; **VIF**: Fatores de Inflação de Variação; () : ausente; (+) efeito positivo; (-) efeito negativo.
 *** $p < 0,01$; ^{ns} $p > 0,01$. Variáveis: BIO1 (temperatura média anual); BIO3 (isotermalidade (BIO2/BIO7) (*100)); BIO4 (Sazonalidade da temperatura (desvio padrão das temperaturas * 100)); BIO7 (faixa anual de temperatura (BIO5-BIO6)); BIO8 (Temperatura média do trimestre mais úmido); BIO12 (precipitação anual).

3.3.3 Caracterização morfológica e morfométrica das populações *Pratylenchus* em pomares de macieira do Paraná e Rio Grande do Sul

Partindo das 19 amostras coletadas, apenas em uma em área (Labnema40), de pomar recém implantado, não foram encontrados espécimes de *Pratylenchus*. Ademais, foi possível identificar 12 populações de *P. zae* (67% das amostras contendo espécimes do gênero) e 5 de *P. penetrans* (28%) (tab. 12). Infelizmente, uma população de *Pratylenchus* (5%), Labnema50, apresentou informações insuficientes para identificação específica. Aparentemente, o tipo de porta-enxerto das árvores não parece ter restringido o aparecimento das espécies, pois ambas estavam presentes em amostras de M7 (*M. pumila* Miller), M9 (*M. pumila*) e Marubakaido (*M. prunifolia*).

A identificação de *P. zae* (Fig. 2) baseou-se, inicialmente, pela distinção de aspectos morfológicos e ausência de machos. Na região anterior foi observado que os espécimes possuíam três anéis labiais, consoante à observações descritas na literatura (CASTILLO; VOVLAS, 2007; GONZAGA, 2006; KOLOMBIA et al., 2020; ROMAN; HIRSCHMANN, 1969), aspecto que permite distinguir várias espécies de *Pratylenchus* (JESUS et al., 2020). Os bulbos de estilete mostraram, predominantemente, base larga e achatada na região anterior, coincidindo com populações descritas por Kolombia et al. (2020). Embora o formato de cauda tenha sido muito variável, a maioria se apresentava pontiaguda. Esse aspecto é comentado em diversos trabalhos, visto que a espécie pode apresentar essas variações morfológicas (KOLOMBIA et al., 2020; ROMAN; HIRSCHMANN, 1969). Em menor frequência, indivíduos mostraram cauda subaguda de terminal quase sempre liso, como afirmam Castillo e Vovlas, 2007) e Gonzaga (2006).

Os caracteres morfométricos mais relevantes para a identificação das populações de *P. zae* (tab. 13) foram semelhantes a várias populações previamente descritas na literatura (DOUCET; CAGNOLO, 1998; VAN DEN BERG; QUÉNÉRHERVÉ, 2000). Desse modo, as mensurações obtidas no presente trabalho foram muito próximas aos resultados apresentados por Roman e Hirschmann (1969), coincidindo os valores de L, E, CC e a maioria dos índices de Man (a, c e V%). Os valores médios de V%, importante característica taxonômica da espécie (GONZAGA, 2006), e comprimento do estilete oscilaram entre 75 a 77% e 14.5 a 15.3 μm , respectivamente. Dados obtidos por Hashim (1983) - relativos à *P. jordanensis*, mais

tarde descrito como sinônimo de *P. zae* por Inserra (2005) - reafirmam que estas mensurações podem se referir à espécie. Os valores de DGO foram coerentes aqueles observados por Roman e Hirschmann (1969), variando entre 1,8 e 3,0 µm. Isoladamente, alguns dos aspectos mensurados podem ser validados em comparação à outras populações de *P. zae* descritas (FORTUNER, 1976; TAYLOR et al., 1957; TROCCOLI; COSTILLA; LAMBERTI, 1996).

Em relação as populações de *P. penetrans* foi observado inicialmente, a presença de machos (Fig. 3). Salienta-se que, apesar da presença dos machos, estes não foram primordiais na fase de identificação morfológica, visto que a prioridade é considerar aspectos das fêmeas. A observação cuidadosa das micrografias das fêmeas de *P. penetrans* (Fig. 4) propiciou a visualização da região labial levemente destacada da região do corpo e a presença de três anéis labiais, aspecto fundamental para identificação morfológica da espécie (ROMAN; HIRSCHMANN, 1969; CASTILLO; VOVLAS, 2007). O formato do bulbo do estilete foi classificado de acordo com Mizukubo et al. (1990), sendo a maioria bastante arredondados e/ou bem separados e côncavos e, menos frequentemente, os bulbos eram dirigidos lateralmente ou sub-recuados, direcionados para frente. De modo similar, Castillo e Vovlas (2007) e Tarte e Mai (1976) também afirmam que fêmeas desta espécie podem apresentar bulbos bastante arredondados ou em formato de concha na região anterior.

A despeito do formato da cauda e a crenação serem relevantes para a identificação de espécies de *Pratylenchus* (CASTILLO; VOVLAS, 2007; GONZAGA, 2006), a análise da cauda exclusivamente não é suficiente para a caracterização específica devido à alta variabilidade morfológica para *P. penetrans*, como ilustrado por Roman e Hirschmann (1969). Com efeito, nas amostras contendo indivíduos de *P. penetrans*, houve a prevalência do tipo de cauda sub-hemisférica com o terminal liso e, em menor frequência, houve caudas menos arredondadas e mais pontiagudas, às vezes crenada. Frederick e Tarjan (1989), confirmam a predominância das caudas de formato sub-hemisférico para a espécie, entretanto outros autores também afirmam que costumam ser medianamente arredondadas e de terminal hialino curto e liso apesar da possibilidade de variações nas caudas de fêmeas (ROMAN; HIRSCHMANN, 1969), como as raras caudas pontiagudas de terminal crenado (GONZAGA, 2006).

As fêmeas de *P. penetrans* encontradas apresentaram dados morfométricos variáveis (tab. 13), mas semelhantes a populações descritas por Janssen et al. (2017), as quais também foram obtidas a partir de *M. pumila* Mill. Dentre as variáveis coincidentes estavam L, E, RLV, I, IA, CC, distância entre a vulva e o ânus e os índices de Man: a, c, c' e V%. O comprimento médio do corpo das populações, que ficou entre 454.0 e 516.3 μm , equiparou-se a diversas citações na literatura (LOOF, 1960; RYSS, 1988; SHER; ALLEN, 1953; TAYLOR; JENKINS, 1957). A DGO média das populações variou entre 2,1 e 2,5 μm (ROMAN; HIRSCHMANN, 1969). Salienta-se que os valores médios obtidos para V% foram congruentes às informações levantadas por Gonzaga (2006), entre 76 e 82%. Em geral, os índices de Man analisados se assemelharam principalmente às informações obtidas por Loof (1960) e Ryss (1988), e algumas vezes o comprimento do estilete também.

A população referente à amostra Labnema50, contendo *P. sp.* não foi identificada, apesar de haver a presença de machos. Aspectos morfológicos de alguns indivíduos, como formato do bulbo do estilete e formato de cauda por exemplo, foram incongruentes à características apresentadas pelas populações de *P. penetrans* identificadas no trabalho.

Reitera-se que não foram encontrados relatos anteriores de *P. penetrans* em macieira no Brasil, mas sim em pomares de outros países. Em vista disso, o presente trabalho seria a primeira menção dessa relação parasitária. Populações de *P. penetrans* advindos de áreas geográficas distintas podem apresentar altos níveis de variação morfológica e morfométrica, induzidos pelas variações ambientais (TARTE; MAI, 1976). Frequentemente aspectos utilizados na caracterização de espécies são questionados, o que exige uma execução meticulosa e o estudo apurado das variações observadas (TARTE; MAI, 1976). A adoção da taxonomia integrativa é a melhor ferramenta para garantir uma maior confiabilidade na identificação (CARNEIRO; LIMA; CORREIA, 2017), então diante dos resultados, análises moleculares futuras poderiam consolidar os resultados ora obtidos.

Tabela 12 – Espécies de *Pratylenchus* identificadas em pomares de macieira do Paraná e do Rio Grande do Sul.

Local (Município e Estado)	Código da Amostra	Espécie de <i>Pratylenchus</i>	Ocorrência^a (%)	Porta-enxerto
Palmas - PR	Labnema38	<i>P. penetrans</i>	100	M7
Palmas - PR	Labnema42	<i>P. penetrans</i>	100	M9
Palmas - PR	Labnema45	<i>P. penetrans</i>	100	M9
Palmas - PR	Labnema51	<i>P. penetrans</i>	100	Marubakaido
Palmas - PR	Labnema48	<i>P. penetrans</i>	100	Marubakaido
Palmas - PR	Labnema50	<i>P. sp.</i>	100	Marubakaido
Palmas - PR	Labnema39	<i>P. zaeae</i>	100	M9
Palmas - PR	Labnema41	<i>P. zaeae</i>	100	M9
Palmas - PR	Labnema43	<i>P. zaeae</i>	100	Marubakaido
Palmas - PR	Labnema44	<i>P. zaeae</i>	100	M9
Palmas - PR	Labnema46	<i>P. zaeae</i>	100	M9
Palmas - PR	Labnema47	<i>P. zaeae</i>	100	M9
Palmas - PR	Labnema49	<i>P. zaeae</i>	100	M9
Palmas - PR	Labnema52	<i>P. zaeae</i>	100	Marubakaido
Guarapuava - PR	Labnema53	<i>P. zaeae</i>	100	M9
Guarapuava - PR	Labnema54	<i>P. zaeae</i>	100	M9
Arroio do Padre - RS	Labnema55	<i>P. zaeae</i>	100	M9
Pelotas - RS	Labnema56	<i>P. zaeae</i>	100	M7

^a A ocorrência foi calculada considerando o percentual de cada fenótipo identificado bioquimicamente e, caso não tenha sido realizada essa identificação, a proporção aplicada foi aquela observada na identificação morfológica.

Tabela 13 – Morfometria de espécies de *Pratylenchus* identificados nas amostras provenientes de pomares de macieira nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul.

Espécie	Código da amostra		L (µm)	DGO (µm)	E (µm)	a	c	c'	V (%)
<i>P. penetrans</i>	Labnema38	Média	516.3	2.4	14.9	20.6	19.3	1.8	81
		Amplitude	394.8 - 628.7	2.1 - 2.8	13.3 - 16.0	18.2 - 22.8	13.6 - 23.0	1.2 - 2.0	77 - 83
<i>P. penetrans</i>	Labnema42	Média	454.0	2.5	14.9	21.3	15.5	2.2	76
		Amplitude	363.0 - 566.8	2.0 - 3.1	14.0 - 15.9	17.1 - 25.2	11.5 - 21.0	1.7 - 2.6	75 - 81
<i>P. penetrans</i>	Labnema45	Média	506.5	2.4	15.2	20.5	15.5	2.3	77
		Amplitude	470.7 - 527.9	2.1 - 2.9	14.3 - 16.1	19.1 - 22.1	13.6 - 17.1	1.9 - 2.9	76 - 79
<i>P. penetrans</i>	Labnema48	Média	497.5	2.5	14.6	20.6	17.0	2.1	76
		Amplitude	426.0 - 527.8	2.1 - 2.10	13.9 - 17	18.9 - 21.10	14 - 19.7	1.5 - 2.8	63 - 84
<i>P. penetrans</i>	Labnema51	Média	512.0	2.2	14.7	19.2	17.6	2.0	80
		Amplitude	481.1 - 557.5	1.7 - 2.7	13.9 - 15.6	17.3 - 22.0	12.6 - 22.9	1.7 - 2.7	76 - 82
<i>P. sp.</i>	Labnema50	Média	476.3	2.1	14.4	20.6	17.8	1.9	77
		Amplitude	431.8 - 530.9	1.4 - 2.8	12.5 - 15.7	16.7 - 22.1	15.2 - 18.5	1.2 - 2.4	73 - 82
<i>P. zaeae</i>	Labnema39	Média	509.6	2.2	14.7	20.6	17.2	2.1	77
		Amplitude	474.5 - 531.2	1.7 - 2.8	14.0 - 15.9	19.0 - 23.2	14.6 - 23.4	1.6 - 2.7	74 - 80
<i>P. zaeae</i>	Labnema41	Média	494.6	2.5	14.8	20.7	16.9	1.8	79
		Amplitude	453.2 - 614.2	2.3 - 2.8	14.1 - 15.5	18.6 - 23.4	16.3 - 17.8	1.7 - 2.0	78 - 86
<i>P. zaeae</i>	Labnema43	Média	490.6	2.8	14.6	21.9	15.9	2.2	76
		Amplitude	417.4 - 570.8	2.4 - 3.0	13.3 - 15.6	19.2 - 26.1	14.0 - 21.0	1.6 - 2.5	70 - 78
<i>P. zaeae</i>	Labnema44	Média	534.6	2.5	15.1	21.6	16.9	1.9	77
		Amplitude	399.0 - 596.9	1.8 - 3.1	13.5 - 15.5	20.0 - 23.2	15.9 - 18.7	1.4 - 2.2	75 - 79
<i>P. zaeae</i>	Labnema46	Média	482.0	2.3	15.0	20.5	16.4	2.1	76
		Amplitude	433.3 - 582.4	1.8 - 2.8	13.3 - 15.8	18.8 - 22.2	12.9 - 20.3	1.8 - 2.8	71 - 78

Tabela 13 – Morfometria de espécies de *Pratylenchus* identificados nas amostras provenientes de pomares de macieira nos estados do Paraná e Rio Grande do Sul.

Espécie	Código da amostra		L (µm)	DGO (µm)	E (µm)	a	c	c'	V (%)
<i>P. zaeae</i>	Labnema47	Média	486.1	2.5	14.6	20.5	15.4	2.2	75
		Amplitude	397.7 - 595.3	1.8 - 2.9	13.8 - 15.4	18.2 - 22.8	13.9 - 17.7	1.8 - 2.5	71 - 79
<i>P. zaeae</i>	Labnema49	Média	504.1	2.6	14.8	19.7	16.9	2.0	77
		Amplitude	435.4 - 555.6	2.2 - 3.0	13.8 - 16.2	17.1 - 22.5	14.2 - 20.1	1.8 - 2.4	75 - 78
<i>P. zaeae</i>	Labnema52	Média	525.7	2.2	14.5	21.8	18.1	2.2	76
		Amplitude	483.0 - 568.5	1.7 - 2.6	12.2 - 16.2	19.2 - 24.3	15.1 - 22.7	1.7 - 2.6	73 - 79
<i>P. zaeae</i>	Labnema53	Média	517.7	2.2	15.3	21.9	17.8	2.2	76
		Amplitude	454.8 - 609.5	1.7 - 2.8	14.3 - 15.9	19.5 - 24.8	14.7 - 18.6	1.7 - 2.5	74 - 78
<i>P. zaeae</i>	Labnema54	Média	528.0	2.0	14.6	20.3	18.0	1.9	76
		Amplitude	380.0 - 661.0	1.3 - 2.8	12.8 - 15.6	17.8 - 23.7	13.4 - 26.1	1.4 - 2.5	71 - 79
<i>P. zaeae</i>	Labnema55	Média	478.2	2.1	14.5	20.4	16.3	1.9	76
		Amplitude	460.3 - 517.7	1.8 - 2.3	13.8 - 15.4	17.6 - 22.0	14.9 - 17.7	1.7 - 2.2	73 - 78
<i>P. zaeae</i>	Labnema56	Média	469.5	2.1	14.7	23.7	16.6	2.4	77
		Amplitude	410.9 - 525.0	1.8 - 2.6	13.7 - 15.5	19.8 - 27.7	13.2 - 18.4	2.0 - 2.8	76 - 79

L = Comprimento do corpo, **DGO** = distância da abertura dos ductos da glândula dorsal esofagiana aos nódulos basais do estilete, **E** = Comprimento do estilete, **V** = Distância da extremidade anterior à vulva, como porcentagem do comprimento total do corpo, **a** = Comprimento do corpo dividido pela maior largura, **c** = Comprimento do corpo dividido pelo comprimento da cauda, **c'** = Comprimento da cauda dividido pela maior largura na região anal.

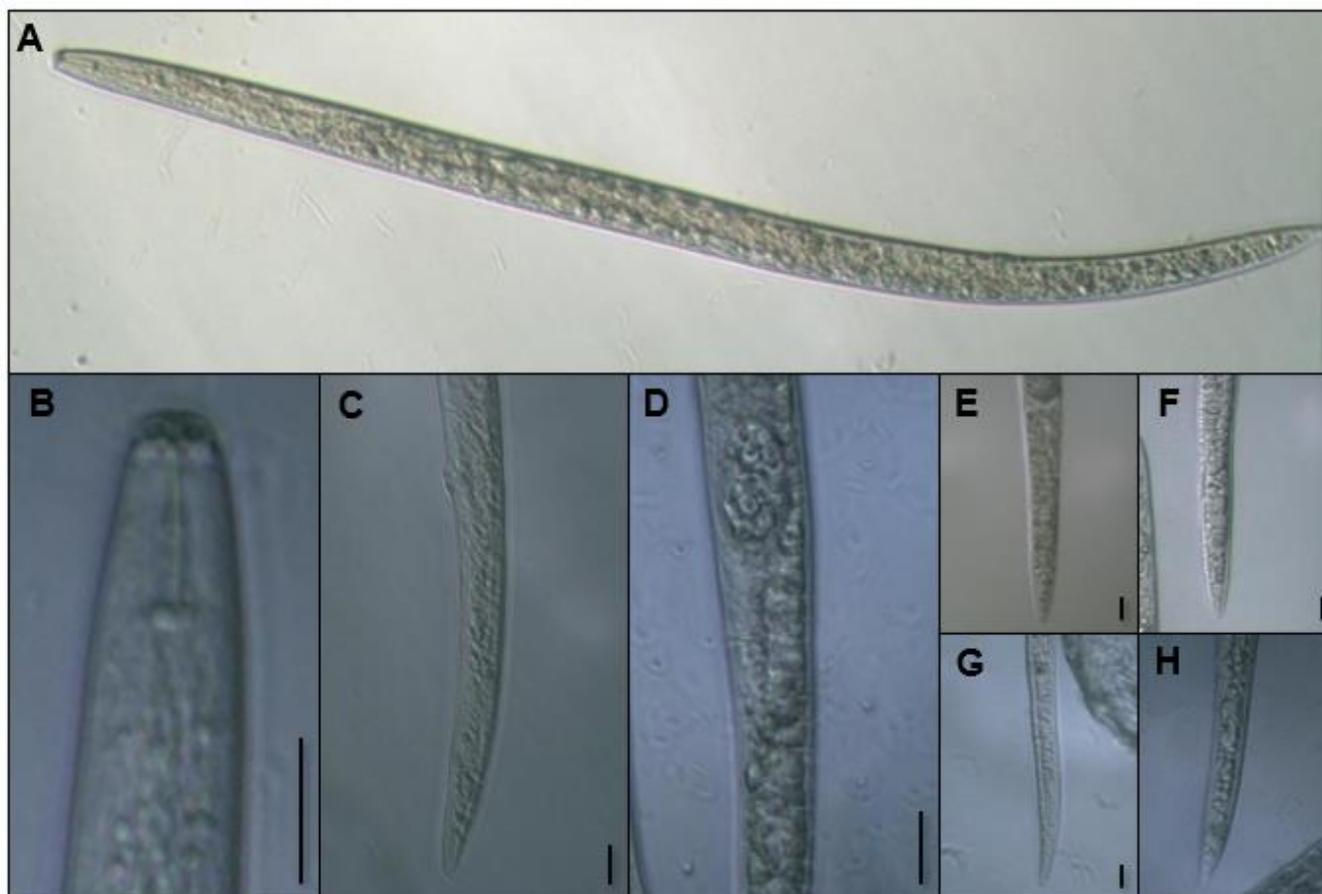


Figura 2 – Fotomicrografias das características morfológicas de fêmeas de *Pratylenchus zeae* identificadas em pomares de macieira no Paraná e Rio Grande do Sul. A: Corpo inteiro, B: região anterior do corpo, C: região posterior do corpo, D: região da vulva, E, F, G, H: variações na morfologia da cauda.

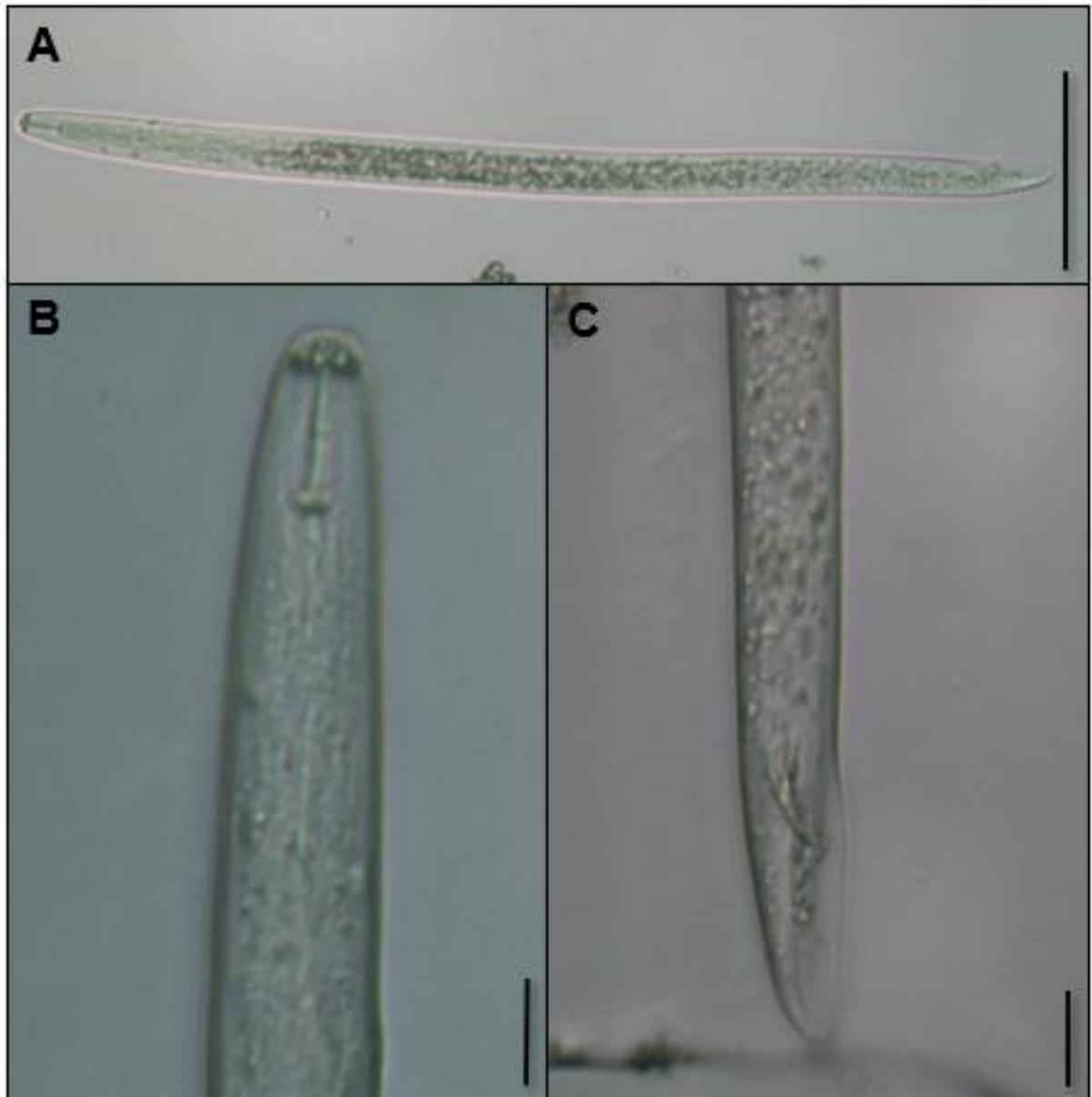


Figura 3 – Fotomicrografias das características morfológicas de machos de *Pratylenchus penetrans* identificados em pomares de macieira no Paraná e Rio Grande do Sul. A: Corpo inteiro, B: região anterior do corpo, C: região posterior do corpo.

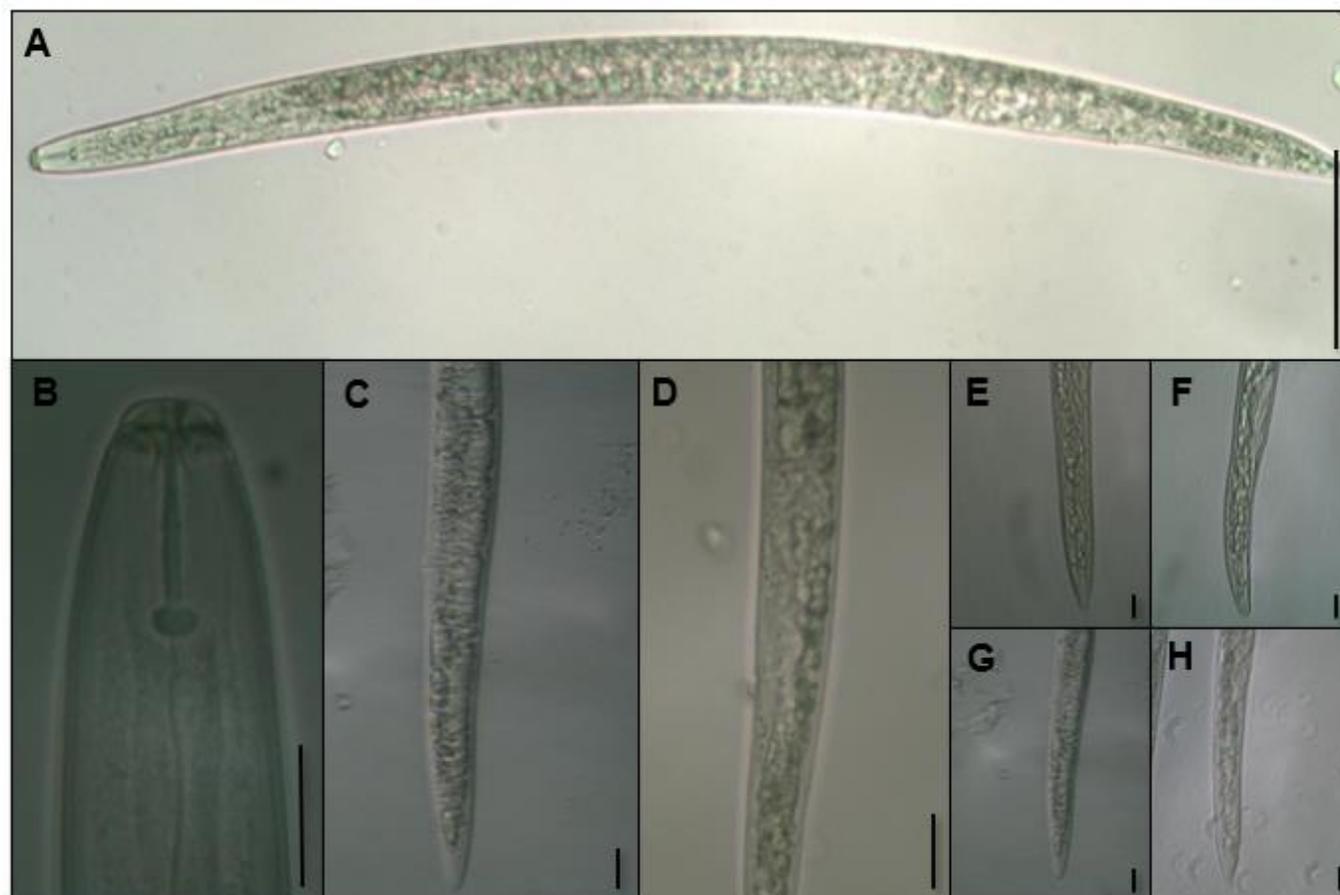


Figura 4 – Fotomicrografias das características morfológicas de fêmeas de *Pratylenchus penetrans* identificadas em pomares de macieira no Paraná e Rio Grande do Sul. A: Corpo inteiro, B: região anterior do corpo, C: região posterior do corpo, D: região da vulva, E, F, G, H: variações na morfologia da cauda.

3.4 Conclusões

Considerando PPNs presentes em pomares de macieira, destaca-se a presença dos gêneros *Pratylenchus*, *Helicotylenchus*, *Tylenchus* e *Xiphinema*, presentes em praticamente 90% das áreas amostradas.

Dentre os principais gêneros observados, *Pratylenchus* foi o mais frequente tanto em amostras de solo quanto de raízes. Contudo, apenas em Palmas/PR foi encontrado indivíduos de *P. penetrans*, enquanto *P. zaeae* apareceu em todas as localidades consideradas neste trabalho.

Variáveis bioclimáticas envolvendo temperatura e precipitação foram capazes de influenciar o número total de PPNs e principalmente os valores de abundância para os gêneros, embora de maneira variada.

4 CONCLUSÕES GERAIS

Os gêneros de PPNs *Helicotylenchus*, *Pratylenchus*, *Tylenchus*, *Xiphinema* e *Mesocriconema* estão presentes em áreas de ambas as culturas no Paraná e no Rio Grande do Sul em frequências e abundâncias variáveis.

As variáveis bioclimáticas de temperatura média anual (BIO1) e precipitação média anual (BIO12) são aquelas que exercem maior influência, principalmente na abundância dos PPNs encontrados, visto que o espaço amostrado não teve tanta variabilidade, principalmente para o tabaco.

No centro-sul do Rio Grande do Sul, as áreas tabageiras apresentam alta infestação por espécies de *Meloidogyne*, tais como *M. javanica*, *M. arenaria* e *M. incognita*, além de *M. hispanica* (até então não relatada no tabaco) e fenótipo bioquimicamente atípico.

Pomares de macieira levantados apresentaram altas infestações de *Pratylenchus*, supostamente das espécies *P. zaeae* e *P. penetrans* (ainda não relatado na cultura no Brasil).

Os levantamentos para a cultura do tabaco e para a maçã demonstraram que os principais gêneros de importância econômica (*Meloidogyne* e *Pratylenchus*, respectivamente) podem estar acima dos limiares de dano econômico.

REFERÊNCIAS

- AFUBRA. **Associação dos Fumicultores do Brasil. Fumicultura Brasil.** Santa Cruz do Sul. 2021. Disponível em: <https://afubra.com.br/fumicultura-brasil.html> Acesso em: 2 jan. 2022.
- AHRENS, D. C.; LLANILLO, R. F.; MILLÉO, R. D. S. Diversification in tobacco growing area: the experience in south-central Paraná. **Boletim Técnico-Instituto Agrônômico do Paraná**, n. 74, 2011.
- AKMIRZA, A.; YARDIMCI, R. E. Fish parasites of the Sakarya River, Turkey. **Journal of Academic Documents for Fisheries and Aquaculture**, v. 1, n. 1, p. 23-29, 2014.
- ARAÚJO FILHO, J. V. et al. Root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.) parasitizing resistant tobacco cultivars in southern Brazil. **Plant Disease**, v. 100, n. 6, p. 1222-1231, 2016.
- ARCHIDONA-YUSTE, A. et al. Spatial structure and soil properties shape local community structure of plant-parasitic nematodes in cultivated olive trees in southern Spain. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 287, p. 106688, 2020.
- BARKER, K. R.; WEEKS, W. W. Relationships between soil and levels of *Meloidogyne incognita* and tobacco yield and quality. **Journal of Nematology**, v. 23, n. 1, p. 82, 1991.
- BARSI, L. New records of *Xiphinema illyricum* Barsi & Lamberti, 1999 from Montenegro (Nematoda: Dorylaimida). **Biologia Serbica**, v. 43, n. 2, p. 69-76, 2021.
- BOGALE, M.; BANIIYA, A.; DIGENNARO, P. Nematode identification techniques and recent advances. **Plants**, v. 9, n. 10, p. 1260, 2020.
- BONETI, J. I. S.; RIBEIRO, L. G.; KATSURAYAMA, Y. Manual de identificação de doenças e pragas da macieira. Florianópolis: Epagri, p.149, 1999.
- BONFIM JUNIOR, M. F.; INOMOTO, M. M.; ARAÚJO FILHO, J. V. de. Phytonematodes infesting common bean fields in Brazil, and pathogenicity tests with *Pratylenchus brachyurus*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 88, 2021.
- BUENO, M. P. et al. Análise da comercialização da cadeia produtiva da maçã brasileira: produção, importação e exportação no período 2015 a 2019. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 4, p. 34061-34078, 2021.
- CABALLERO, B.; FINGLAS, P.; TOLDRÁ. **Encyclopedia of food and health.** Academic Press, 2015.
- CAFÉ FILHO, A. C.; HUANG, C. S. Nematoides do gênero *Pratylenchus* no Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 13, n. 3, p. 232-235, 1988.

- CAFÉ FILHO, A. C.; HUANG, C. S. Description of *Pratylenchus pseudofallax* n. sp. with a key to species of the genus *Pratylenchus* Filipjev, 1936 (Nematoda: Pratylenchidae). **Revue de Nématologie**, v. 12, n. 1, p. 7-15, 1989.
- CARNEIRO, R. G.; ALMEIDA, M. R. A. Técnica de eletroforese usada no estudo de enzimas dos nematoides de galhas para identificação de espécies. **Nematologia Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 35-44, 2001.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A.; GOMES, A. C. M. M. 2004. First record of *Meloidogyne hispanica* Hirschmann, 1986 on squash in State of Bahia, Brazil. **Nematologia Brasileira**, v. 28, n. 2, p. 215-218, 2004.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R.; QUÉNÉHERVÉ, P. Enzyme phenotypes of *Meloidogyne* spp. populations. **Nematology**, v. 2, n. 6, p. 645-654, 2000.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; COFCEWICZ, E. T. Taxonomy of coffee-parasitic root-knot nematodes, *Meloidogyne* spp. In: **Plant-parasitic nematodes of coffee**. Springer, Dordrecht, p. 87-122, 2008.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; ALMEIDA, M. R. A.; CARNEIRO, R. G. Enzyme phenotypes of Brazilian populations of *Meloidogyne* spp. **Fundamental and applied Nematology**, v. 19, n. 6, p. 555-560, 1996.
- CARNEIRO, R. M. D. G. et al. *Meloidogyne paranaensis* n. sp. (Nemata: Meloidogynidae), a root-knot nematode parasitizing coffee in Brazil. **Journal of Nematology**, v. 28, n. 2, p. 177, 1996.
- CARNEIRO, R. M. D. G. et al. Gênero *Meloidogyne*: diagnose através de eletroforese de isoenzimas e marcadores SCAR. In: **Diagnose de fitonematoides**, p. 47-72, 2016 Gênero *Meloidogyne*: diagnose através de eletroforese de isoenzimas e marcadores Campinas: Millennium Editora, 367p. 2016.
- CARNEIRO, R. M. D. G.; LIMA, F. S. de O.; CORREIA, V. R. Methods and tools currently used for the identification of plant parasitic nematodes. **Nematology-Concepts, Diagnosis and Control**, p. 19, 2017.
- CASTILLO, P.; VOVLAS, N. ***Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): Diagnosis, Biology, Pathogenicity and Management**. Leiden-Boston: Brill, v. 6, 2007. 529p.
- CLIFF, G. M.; HIRSCHMANN, H. Evaluation of morphological variability in *Meloidogyne arenaria*. **Journal of Nematology**, v. 17, n. 4, p. 445, 1985.
- COFCEWICZ, E. et al. Enzyme phenotypes and genetic diversity of root-knot nematodes parasitising *Musa* in Brazil. **Nematology**, v. 6, n. 1, p. 85-95, 2004.
- COOLEN, W. A.; D'HERDE, C.J. **A. Method for the Quantitative Extraction of Nematodes from Plant Tissue**. Ghent, Bélgica. State Nematology and Entomology Research Station, 77p. 1972.

- DEAKIN, G. et al. The effect of rotating apple rootstock genotypes on apple replant disease and rhizosphere microbiome. **Phytobiomes Journal**, v. 3, n. 4, p. 273-285, 2019.
- DIAS-ARIEIRA, C. R. et al. Fitonematoides associados a frutíferas na região Noroeste do Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, p. 1064-1071, 2010.
- DORMANN, C. F. et al. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance. **Ecography**, v. 36, n. 1, p. 27-46, 2013.
- DOUCET, M. E.; CAGNOLO, S. Variabilidad intra e interespecífica de caracteres morfométricos en poblaciones del orden Tylenchida (Nematoda) provenientes de Argentina. **Nematologia Mediterranea**, v. 26, n. 2, p. 231-236, 1998.
- DUYCK, P-F et al. Niche partitioning based on soil type and climate at the landscape scale in a community of plant-feeding nematodes. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 44, n. 1, p. 49-55, 2012.
- ESBENSHADE, P. R.; TRIANTAPHYLLOU, A. C. Use of enzyme phenotypes for identification of *Meloidogyne* species. **Journal of nematology**, v. 17, n. 1, p. 6, 1985.
- ESPÁRRAGO, G.; NAVAS, A. Nematofauna fitoparásita asociada a cultivos hortícolas y tabaco en regadíos de Extremadura. **Boletín de sanidad vegetal Plagas**, v. 21, n. 3, p. 303-317, 1995.
- FAO. FAOSTAT statistics database, 2021. Disponível em: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> Acesso em: 2 jan 2022.
- FAO. SOILS PORTAL. **World Reference Base**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/world-reference-base/en/> Acesso em: 2 jan. 2022.
- FAVORETO, L. et al. Diagnose e manejo de fitonematoides na cultura da soja. **Informe Agropecuário, Belo Horizonte**, v. 40, n. 306, p. 18-29, 2019.
- FERNANDES, A. R. F. **Patogenicidade de *Pratylenchus brachyurus* e severidade da murcha bacteriana quando associada a este nematóide em fumo**. 2009. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade e Biotecnologia Aplicada) – Instituto de Biologia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica.
- FERRIS, H. Nematode economic thresholds: Derivation, Requirements, and Theoretical Considerations. **Journal of Nematology**, v. 10, n. 4, p. 341, 1978.
- FICK, S. E.; HIJMANS, R. J. WorldClim 2: New 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas. **International Journal of Climatology**, 37(12), 4302–4315, 2017.

FIORAVANÇO, J. C.; SANTOS, R. S. S. **Maçã: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Coleção 500 perguntas, 500 respostas. Embrapa Uva e vinho (INFOTECA-E), 2013.

FLEMING, T. R. et al. Prevalence and diversity of plant parasitic nematodes in Northern Ireland grassland and cereals, and the influence of soils and rainfall. **Plant Pathology**, v. 65, n. 9, p. 1539-1550, 2016.

FORTUNER, R. *Pratylenchus zaei*. CIH Descriptions of plant-parasitic nematodes. Commonwealth Agricultural Bureaux, n. 77, 1976.

FREDERICK, J.J.; TARJAN, A.C. A compendium of the genus *Pratylenchus* Filipjev, 1936 (Nemata: Pratylenchidae). **Revue de Nématologie**, v. 12, n. 3, p. 243-256, 1989.

GEORGI, L. L. Transmission of tomato ringspot virus by *Xiphinema americanum* and *X. rivesi* from New York apple orchards. **Journal of Nematology**, v. 20, n. 2, p. 304, 1988.

GODOY, C.V.; SALGADO, C.L. Doenças do fumo (*Nicotiana tabacum* L.). In: Kimati, H., Amorim, L., Bergamin Filho, A., Camargo, L.E.A. & Rezende, J.A.M. (Eds.) **Manual de Fitopatologia: Doenças das Plantas Cultivadas**. São Paulo. Agronômica Ceres. v.2, p.387-396, 2005.

GONZAGA, V. **Caracterização morfológica, morfométrica e multiplicação in vitro das seis espécies mais comuns de *Pratylenchus* filipjev, 1936 que ocorrem no Brasil**. 2006. 79f. Tese (Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus de Jaboticabal. Jaboticabal-SP.

GROXKO, M. **Prognóstico Cultura do FUMO** – novembro de 2020. Departamento de Economia Rural, Divisão de Conjuntura Agropecuária. Governo do Estado do Paraná, 2020. Disponível em; https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-12/Prog%C3%B3stico%20Fumo%20-%202020_21.pdf Acesso em: jan 2022.

HAMZA, M.A. et al. Diversity of plant-parasitic nematode communities associated with olive nurseries in Morocco: Origin and environmental impacts. **Applied Soil Ecology**, v. 124, p. 7-16, 2018.

HANDOO, Z. A.; CARTA, L. K.; SKANTAR, A. M. Taxonomy, morphology and phylogenetics of coffee-associated root-lesion nematodes, *Pratylenchus* spp. In: **Plant-parasitic nematodes of coffee**. Springer, Dordrecht, p. 29-50, 2008.

HASHIM, Z. Description of *Pratylenchus jordanensis* n. sp. (Nematoda: Tylenchida) and notes on other Tylenchida from Jordan. **Revue Nématologie**, v. 6, n. 2, p. 187-192, 1983

HIJMANS, R. J., PHILLIPS, S., LEATHWICK, J., ELITH, J. **Dismo: Species distribution modelling**. R package version v. 1, n. 4, p. 1-1, 2017. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/dismo/dismo.pdf>. Acesso em: 2 jan. 2022.

HIJMANS, R. J. et al. **Geographic Data Analysis and Modelling**. 2020. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/raster/> Acesso: jan. 2022.

HIRSCH, A.; LANDAU, E. C. Dinâmica da produção agropecuária e da paisagem natural no Brasil nas últimas décadas: sistemas agrícolas, paisagem natural e análise integrada do espaço rural. In: *Evolução da produção de Fumo*. **Embrapa Milho e Sorgo-Livro científico (ALICE)**, p 801-836, 2020.

IBGE. **Produção Agrícola - Lavoura Temporária - Fumo**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Cidades. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rs/pesquisa/14/10193?localidade1=0> Acesso em: jan. 2022.

INAGAKI, H. The plant parasitic nematodes important in Japan and the related researches. **Japan Agricultural Research Quarterly**, v. 18, p. 194-201, 1985.

INSERRA, R. N. et al. *Pratylenchus jordanensis* a junior synonym of *P. zaeae*. **Nematropica**, p. 161-170, 2005.

JAMES, P.; SIKORA, R. A. Effects of Tropical Climates on the Distribution and Host-Parasite Relationship of Plant Parasitic Nematodes. In: **Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture**. Ed.: LUC, M.; SIKORA R. A.; BRIDGE, J., Wallingford, UK: CAB International, p. 583-597, 1990.

JANSSEN, T. et al. Molecular characterization and species delimiting of plant-parasitic nematodes of the genus *Pratylenchus* from the penetrans group (Nematoda: Pratylenchidae). **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 117, p. 30-48, 2017.

JENKINS, W.R. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. **Plant Disease Reporter**. v. 48, n. 9, p. 692, 1964.

JESUS, A. et al. Morphological and Morphometric Characterization of *Pratylenchus* Species In Sugarcane Cropping Areas of Pernambuco State. **Revista Caatinga**, v. 33, p. 599-607, 2020.

KANDJI, S. T.; OGOL, C. K. P. O.; ALBRECHT, A. Diversity of plant-parasitic nematodes and their relationships with some soil physico-chemical characteristics in improved fallows in western Kenya. **Applied Soil Ecology**, v. 18, n. 2, p. 143-157, 2001.

KIRSCH, V. G. et al. Caracterização de espécies de *Meloidogyne* e de *Helicotylenchus* associadas à soja no Rio Grande do Sul. **Nematropica**, v. 46, n. 2, 2016.

KOLOMBIA, Yao A. et al. Morphological and molecular characterization of *Pratylenchus* species from Yam (*Dioscorea* spp.) in West Africa. **Journal of Nematology**, v. 52, 2020.

KOVALESKI, A.; Pragas. In: KOVALESKI, A. (ed.). **Maçã: Fitossanidade**. Frutas do Brasil, 38, Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho. p. 10-33, 2004.

LEITE, R. R. et al. Integrative taxonomy of *Meloidogyne ottersoni* (Thorne, 1969) Franklin, 1971 (Nematoda: Meloidogynidae) parasitizing flooded rice in Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, v. 157, n. 4, p. 943-959, 2020.

LIU, J.; WANG, X. Plant diseases and pests detection based on deep learning: a review. **Plant Methods**, v. 17, n. 1, p. 1-18, 2021.

LOOF, P. A. A. Taxonomic studies on the genus *Pratylenchus* (Nematoda). Tijdschrift over Plantenziekten, v. 66, n. 2, p. 29-90, 1960.

LUC, M.; BRIDGE, J.; SIKORA, R. A. Reflections on nematology in subtropical and tropical agriculture. In: **Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture**. Ed.: LUC, M.; BRIDGE, J.; SIKORA, R. A. Wallingford, UK: CAB International, p. 1–10, 2005.

LUC, M.; HUNT D. J.; MACHON, J. E. R Morphology, Anatomy and Biology of Plant Parasitic Nematodes - a Synopsis. In: **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Ed.: LUC, M.; SIKORA R. A.; BRIDGE, J., Wallingford, UK: CAB International, p. 1-45, 1990.

LÜ, L. H.; WU, Q. S. Mitigation of replant disease by mycorrhization in horticultural plants: A review. **Folia Horticulturae**, v. 30, n. 2, p. 269–282, 2018.

MACHADO, A. C. Z.; SILVA, S. A.; FERRAZ, L. C. C. **Métodos em nematologia agrícola**. Piracicaba: Sociedade Brasileira de Nematologia, 2019. 184 p. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/335790972_Metodos_em_Nem_Agricola
Acesso em: jul. 2021.

MAHNKOPP, F. et al. Induction and diagnosis of apple replant disease (ARD): a matter of heterogeneous soil properties? **Scientia Horticulturae**, v. 241, p. 167-177, 2018.

MAI, W. F; MULLIN, P. G. *Plant-Parasitic Nematodes: A Pictorial Key to Genera* (5th edition). Cornell University Press, Ithaca, New York, 277 p. 1996.

MÁRQUEZ, L. A. Y. et al. Unveiling the structure and distribution of plant-parasitic nematode communities in soybean fields in southern of the Brazil. **European Journal of Plant Pathology**, v. 160, n. 2, p. 457-468, 2021.

MAZZOLA, M.; MANICI, L. M. Apple replant disease: Role of microbial ecology in cause and control. **Annual Review of Phytopathology**, v. 50, p. 45–65, 2012.

- MAZZOLA, M.; MULLINIX, K. Comparative field efficacy of management strategies containing *Brassica napus* seed meal or green manure for the control of apple replant disease. **Plant Disease**, v. 89, n. 11, p. 1207-1213, 2005.
- MEDINA, I. L. et al. Genetic diversity of *Meloidogyne* spp. parasitising potato in Brazil and aggressiveness of *M. javanica* populations on susceptible cultivars. **Nematology**, v. 19, n. 1, p. 69-80, 2017.
- MIZUKUBO, T. et al. *Pratylenchus subranjani* n. sp. (Nematoda: Pratylenchidae) from maize in Thailand. **Applied entomology and zoology**, v. 25, n. 2, p. 311-318, 1990.
- MONTEIRO, A. R. et al. Ocorrência de *Pratylenchus scribneri* em pomares e viveiros de macieira da região de Vacaria, RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 11, Viçosa, 1987. Resumos. **Nematologia Brasileira**, v. 11, p. 30, 1987.
- NACHTIGALL, G. R.; FIORAVANÇO, J. C.; HOFFMANN, A. **Macieira**. Embrapa Uva e Vinho-Capítulo em livro técnico (INFOTECA-E), 2009.
- NAIMI, B.; ARAÚJO, M. B. sdm: a reproducible and extensible R platform for species distribution modelling. **Ecography**, v. 39, n. 4, p. 368-375, 2016.
- NEHER, D. A. Ecology of plant and free-living nematodes in natural and agricultural soil. **Annual review of phytopathology**, v. 48, p. 371-394, 2010.
- NEUSCHANK, E. et al. Caracterização bioquímica de espécies dos nematoide-das-galhas (*Meloidogyne* spp.) em tabaco. In: XXX CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 2019, Pelotas. Anais 2019. Pelotas: UFPel, 2019.
- NICOL, J. M. et al. Current nematode threats to world agriculture. In: **Genomics and molecular genetics of plant-nematode interactions**. Springer, Dordrecht, p. 21-43. 2011.
- NUNES, R. Fumo como fonte de renda dos agricultores na região sul brasileira: a dicotomia como entre renda e saúde. 2012. Monografia (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Socioeconômico. Ciências Econômicas (EaD).
- OLIVEIRA, F.; COSTA, M.C.F. **Dossiê técnico**. Cultivo de fumo (*Nicotiana Tabacum* L.) 2012. Serviço Brasileiro de respostas técnicas. Universidade de São Paulo – USP.
- OLIVEIRA, C. M. G.; MONTEIRO, A. R.; BLOK, V. C. Morphological and molecular diagnostics for plant-parasitic nematodes: working together to get the identification done. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, p. 65-73, 2011.

OLTHOF, Th. H. A.; HOPPER, B. E. Distribution of *Pratylenchus* spp. and other stylet-bearing nematode genera in soils in the flue-cured tobacco area of southern Ontario. **Canadian Plant Disease Survey**, v. 53, n. 3, p. 31-33, 1973.

PÉREZ, M.; FERNÁNDEZ, E. Plant-parasitic nematodes associated with tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) in the Pinar del Río province of Cuba. **Nematropica**, p. 187-193, 1998.

PREMACHANDRA, D.W.T.S.; GOWEN, S.R. Influence of pre-plant densities of *Meloidogyne incognita* on growth and root infestation of spinach (*Spinacia oleracea* L.) (Amaranthaceae) – an important dimension towards enhancing crop production. **Future of Food: Journal on Food, Agriculture and Society**, v.3, n. 2, p. 18-26, 2015.

PINOCHET, J. et al. Damage by a lesion nematode, *Pratylenchus vulnus*, to *Prunus* rootstocks. **Plant disease**, v. 80, n. 7, p. 754-757, 1996.

POKHAREL, R. **Importance of plant parasitic nematodes in Colorado crops.** Crop Series. **Diseases.** Colorado State University. Extension. n. 2.952, 2011

QUÉNÉHERVÉ, P. et al. Diversity of *Meloidogyne* spp. parasiting plants in Martinique Island, French West Indies [Diversidad de especies de *Meloidogyne* que parasitam plantas en la Isla de Martinica, Antillas Francesas]. **Nematropica**, v. 41, n. 2, p. 191-199, 2011.

R Development Core Team. **R: a language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, version 4.1.2, Vienna, Austria. (<http://www.R-project.org>), 2022.

RASHIDIFARD, M. et al. Molecular characterisation of *Meloidogyne enterolobii* and other *Meloidogyne* spp. from South Africa. **Tropical Plant Pathology**, v. 44, n. 3, p. 213-224, 2019.

ROMAN, J.; HIRSCHMANN, Hedwig. Morphology and morphometrics of six species of *Pratylenchus*. **Journal of Nematology**, v. 1, n. 4, p. 363, 1969.

RUFATO, L. et al. Geneva® Series Rootstocks for Apple Trees Under Extreme Replanting Conditions in Southern Brazil. **Frontiers in Plant Science**. v. 12, 2021.

RUSINQUE, L. et al. Morphological, biochemical and molecular characterisation of *Meloidogyne javanica*, from North Portugal, in tomato. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 41, n. 1, p. 193-198, 2018.

RYSS, A. Y. **Root parasitic nematodes of the family Pratylenchidae (Tylenchida) of the world fauna.** Leningrad, Nauka, 367 p.1988.

SÁNCHEZ-MORENO, S. et al. Effects of agricultural management on nematode–mite assemblages: soil food web indices as predictors of mite community composition. **Applied Soil Ecology**, v. 41, n. 1, p. 107-117, 2009.

SANHUEZA, R. M. V. Doenças. In: NACHTIGALL, G. R. (ed.). **MAÇÃ: Produção**. Frutas do Brasil, 37, Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho. p. 116-134, 2004.

SANKARAN, S. et al. A review of advanced techniques for detecting plant diseases. **Computers and electronics in agriculture**, v. 72, n. 1, p. 1-13, 2010.

SEINHORST, J.W. The common relation between population density and plant weight in pot and microplot experiments with various nematode plant combinations. **Fundamental and Applied Nematology** 21, 459-468. 1998.

SCHMITT, D. P. BARKER, K. R. Incidence of plant-parasitic nematodes in the coastal plain of North Carolina. **Plant Disease**, v. 72, n. 2, p. 107-110, 1988.

SHARMA, G. C.; SEN, S. Status of plant-parasitic nematodes in apple orchards of Himachal Pradesh. **International Journal of Farm Sciences**, v. 5, n. 3, p. 171-178, 2015.

SHAVA, J. G. et al. Incorporation of root-knot nematode (*Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood) resistance in the Zimbabwean elite Virginia tobacco (*Nicotiana tabacum* L.) germplasm: A review. **Agricultural Reviews**, v. 39, n. 4, p. 333-337, 2018.

SHEPHERD, J. A. BARKER, K. R. Nematode parasites of tobacco. In: **Plant parasitic nematodes in subtropical and tropical agriculture**. Ed.: LUC, M.; SIKORA R. A.; BRIDGE, J., Wallingford, UK: CAB International, p. 493-517, 1990.

SHER, S. A.; ALLEN, M. W. Revision of the genus *Pratylenchus* (Nematoda: Tylenchidae). **University of California publications in zoology**, v. 57, n. 6, p. 441-470, 1953.

SIMON, A. C. M. et al. Incidence, population density, and spatial heterogeneity of plant-parasitic nematodes in corn fields in Ohio. **Plant disease**, v. 102, n. 12, p. 2453-2464, 2018.

SINDITABACO. **Sobre o setor**. Santa Cruz do Sul, 2021. Disponível em: <http://www.sinditabaco.com.br/> Acesso em: jan. 2022.

SOMAVILLA, L. **Levantamento, caracterização do nematoide das galhas em videira nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina e estudo da resistência de porta-enxertos a *Meloidogyne* spp.** 2011. 81f. Tese (Doutorado em Fitossanidade). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas

SOUZA, A. G. et al. Levantamento e correlação de nematoides na rizosfera de porta-enxerto 'Marubakaido'. In: JORNADA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA - CONGREGA URCAMP, 14, 2017. Revista da 14ª Jornada de Pós-Graduação e Pesquisa - Congrega Urcamp. Bagé: Urcamp, 2017. p. 1962-1975.

TARTE, R.; MAI, W. F. Morphological variation in *Pratylenchus penetrans*. *Journal of Nematology*, v. 8, n. 3, p. 185, 1976.

TAYLOR, D. P.; JENKINS, W. R. Variation within the nematode genus *Pratylenchus*, with the descriptions of *P. hexincisus* n. sp. and *P. subpenetrans* n. sp. *Nematologica*, v. 2, n. 2, p. 159-174, 1957.

TAYLOR, D.P.; NETSCHER, C. An improved technique for preparing perineal patterns of *Meloidogyne* spp. *Nematologica*, 20: 268-269, 1974.

TEWOLDEMEDHIN, Y. T. et al. A multi-phasic approach reveals that apple replant disease is caused by multiple biological agents, with some agents acting synergistically. *Soil Biology and Biochemistry*, v. 43, n. 9, p. 1917–1927, 2011.

TROCCOLI, A.; COSTILLA, M. A.; LAMBERTI, F. Note morfo-biometriche su *Pratylenchus zae* Graham, 1951. *Nematologica Mediterranea*, v. 24, p. 43-47, 1996.

USDA. **Economics, Statistics and Market Information System**. Disponível em: <https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/> Acesso em: jan. 2022.

VAN DEN BERG, E.; QUÉNÉHERVÉ, P. *Hirschmanniella caribbeana* sp. n. and new records of *Pratylenchus* spp. (Pratylenchidae: Nematoda) from Guadeloupe, French West Indies. *Nematology*, v. 2, n. 2, p. 179-190, 2000.

VAN HORN, C.; SOMERA, T. S.; MAZZOLA, M. Comparative analysis of the rhizosphere and endophytic microbiomes across apple rootstock genotypes in replant orchard soils. *Phytobiomes Journal*, v. 5, n. 2, p. 231-243, 2021.

VAN SCHOOR, L.; DENMAN, S.; COOK, N. C. Characterisation of apple replant disease under South African conditions and potential biological management strategies. *Scientia Horticulturae*, v. 119, n. 2, p. 153–162, 2009.

VIGNOLI-SILVA, M.; MENTZ, L. A. O gênero *Nicotiana* L. (Solanaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil. *Iheringia, Série Botânica.*, v. 60, n. 2, p. 151-173, 2005.

VOVLAS, N. et al. Host-Parasite relationships in tobacco plants infected with a root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) population from the Azores. *Phytoparasitica*, v. 32, n. 2, p. 167-173, 2004.

VRAIN, T. C.; ROUSSELLE, G. L. Distribution of Plant-Parasitic Nematodes in Quebec Apple Orchards. *Plant Disease*, v. 64, n. 6, 1980.

WALLACE, M. K.; MACDONALD, D. H. Plant-parasitic nematodes in Minnesota apple orchards. *Plant Disease Reporter*, v. 63, n. 12, p. 1063-1067, 1979.

WINKELMANN, T. et al. Apple replant disease: causes and mitigation strategies. *Current Issues in Molecular Biology*, v. 30, n. 1, p. 89-106, 2019.

WREGGE, M. S. et al. **Atlas climático da região sul do Brasil: estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2012.

YIM, B.; SMALLA, K.; WINKELMANN, T. Evaluation of apple replant problems based on different soil disinfection treatments-links to soil microbial community structure? **Plant and Soil**, v. 366, n. 1, p. 617–631, 2013.