

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

EDUARDA LESSA DE ARAÚJO DE SOUZA

IDENTIFICAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE NEMATÓIDES EM POMAR
CONVENCIONAL DE MAÇÃ NA SERRA CATARINENSE COM TÉCNICAS
DE SENSORIAMENTO REMOTO

Lages - SC
Dezembro, 2022

EDUARDA LESSA DE ARAÚJO DE SOUZA

IDENTIFICAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE NEMATÓIDES EM POMAR
CONVENCIONAL DE MAÇÃ NA SERRA CATARINENSE COM TÉCNICAS
DE SENSORIAMENTO REMOTO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso Superior
de Tecnologia em Gestão do
Agronegócio do Câmpus Lages
do Instituto Federal de Santa
Catarina para a obtenção do
diploma de Tecnóloga em
Gestão do Agronegócio.

Orientador: Professor Dr.
Fernando Domingos Zinger.
Coorientador: Professor Me.
Angelo Oliveira Gonçalves.

Lages - SC
Dezembro, 2022

EDUARDA LESSA DE ARAÚJO DE SOUZA

IDENTIFICAÇÃO DA OCORRÊNCIA DE NEMATÓIDES EM POMAR
CONVENCIONAL DE MAÇÃ NA SERRA CATARINENSE COM TÉCNICAS
DE SENSORIAMENTO REMOTO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Tecnóloga em
Gestão do Agronegócio, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão
avaliadora abaixo indicada.

Lages, 08 de Dezembro de 2022.

Orientador - Professor Dr. Fernando Domingos Zinger
IFSC

Co Orientador - Prof. Me. Angelo Oliveira Gonçalves
UESC

Prof. Professor Dr. Roberto Akitoshi Komatsu
IFSC

Profa .Me. Marisa Santos Sanson
IFSC

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer a mim mesma por ter persistido e conquistado essa etapa mesmo com tantos empecilhos no caminho.

Aos meus orientador e coorientador, Professor Dr. Fernando Domingos Zinger e Me. Angelo Oliveira Gonçalves, meu mais sincero obrigado por todo apoio, acompanhamentos e conhecimentos transmitidos durante esse período.

Aos meus pais Luciano de Souza e Geovana Lessa de Araújo de Souza, sem os quais eu não teria a oportunidade de trilhar essa caminhada pela vida e pelo ensino superior. Agradeço por seu tempo, paciência e carinho hoje e sempre.

Aos meus irmãos Gustavo Lessa Araújo de Souza e Gabriela Lessa de Araújo Souza pelo incentivo, caronas, conversas e companheirismo.

Às minhas amigas de longa data, Anna e Laura, agradeço pelo apoio, risadas e momentos de descontração nesses últimos 11 anos de amizade.

Aos meus colegas e amigos de sala, em especial à Emanuella F. Vargas por todas as risadas, perrengues resolvidos e horas compartilhadas no curso.

Para todos os servidores, professores e terceirizados do Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Lages que fizeram parte dessa jornada, vocês tem minha gratidão e admiração.

E finalmente a todos os meus amigos de profissão que pude conhecer ao longo dos estágios que tive a oportunidade de realizar nesses últimos três anos, valorizo seus ensinamentos sobre a vida dentro e fora do ambiente acadêmico.

RESUMO

A cultura da maçã é de extrema importância para os estados do Sul do Brasil, especialmente no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, sendo concentrada neles a maior parte da produção do país. O patógeno estudado (nematóide de galha) apresenta alta adaptabilidade quanto sua presença em culturas e locais, sendo considerado como parasita com potencial de causar danos e influenciar na produtividade das áreas infestadas. Considerando isso, e a escassez de trabalhos e dados numéricos e espaciais referentes à ocorrência de nematoides na cultura da maçã até o momento no estado de Santa Catarina, o presente trabalho teve como objetivo utilizar técnicas de sensoriamento remoto aliadas à coletas de informações a campo e análises laboratoriais para avaliar a aplicabilidade destas metodologias no monitoramento da incidência de nematoides em pomar convencional de maçã na Serra Catarinense localizado no município de Paineira - SC. Os dados gerados foram capazes de avaliar a aplicabilidade de imagens de satélite para o mapeamento de doenças na cultura da maçã em campo e correlacionar a dependência espacial das reboleiras identificadas por imagens de satélite como sendo causadas por conta da ação de nematoides na área por meio de cálculos geoestatísticos, atestando a heterogeneidade do desenvolvimento da doença a campo e tendo como maior foco de infestação de nematoides uma estimativa populacional de 4224 indivíduos presentes em cada 100 gramas de solo no quarto ponto analisado. Por se tratar de uma área com histórico de contaminação, os pontos analisados demonstraram a presença de reboleiras causadas por nematoides no pomar, uma vez que em todos houveram ocorrências do patógeno.

Palavras-Chave: Agricultura de Precisão. *Malus sp.* Nematóide.

ABSTRACT

The apple culture is highly important for the southern states of Brazil, mainly in Rio Grande do Sul and Santa Catarina, where most of the country's production is concentrated in them. The pathogen studied (root-knot nematode) shows high adaptability in terms of its presence in cultures and locations, and is considered a parasite with the potential to cause damage and influence the productivity of infested areas. Considering this, and the scarcity of works and numerical and spatial data referring to the occurrence of nematodes in the apple crop so far in the state of Santa Catarina, the present work aimed to use remote sensing techniques combined with the collection of information in the field and laboratory analyzes to evaluate the applicability of these methodologies in monitoring the incidence of nematodes in a conventional apple orchard in Serra Catarinense located in the municipality of Panel - SC. The generated data were able to evaluate the applicability of satellite images for mapping diseases in the apple crop in the field and to correlate the spatial dependence of root crops identified by satellite images as being caused due to the action of nematodes in the area through geostatistical calculations, attesting to the heterogeneity of disease development in the field and having as the main focus of nematode infestation a population estimate of 4224 individuals present in every 100 grams of soil in the fourth point analyzed. As this area has a history of contamination, the points analyzed showed the presence of root balls caused by nematodes in the orchard, since the pathogen had occurred in all of them.

Keywords: Precision Agriculture. Malus sp. Nematode.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Ciclo do nematoide de galha (<i>Meloidogyne incognita</i>).	19
Figura 2 - Fluxograma do geoprocessamento dos dados pelo programa GS +.	26
Figura 3 - Interpolação dos dados por krigagem e geração do mapa pelo programa GS +.	28
Figura 4 - Delimitação da camada de borda da área de estudo no QGIS.	28
Figura 5 - Geração e edição do mapa no SURFER®.	29
Figura 6 - Distribuição espacial de fitonematoides em área experimental pesquisada de pomar de maçãs localizado em Painei, SC.	33
Figura 7 - Pontos amostrais na área.	34
Figura 8 - Pomar localizado na cidade de Painei - SC sob as coordenadas: (S) -27.922823868433877, (W) -50.078507004799924.	43
Figura 9 - Pontos amostrais na área.	43
Figura 10 - Ponto de coleta Pn1.	44
Figura 11 - Ponto de coleta Pn2.	44
Figura 12 - Ponto de coleta Pn3.	45
Figura 13 - Ponto de coleta Pn4.	45
Figura 14 - Ponto de coleta Pn7.	46
Figura 15 - Ponto de coleta Pn8.	46
Figura 16 - Ponto de coleta Pn9.	47
Figura 17 - Nematóides identificados na amostra do ponto 4 (Pn4).	48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivos	12
1.1.1 Objetivo geral	12
1.1.2 Objetivo específico	12
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 Contextualizando a Maçã	13
2.1.2 A expansão do cultivo da Maçã e Dados Produtivos	14
2.2 Nematoides e seus Impactos na Agricultura	15
2.2.1 Ciclo reprodutivo dos Nematoides	17
2.3 Sensoriamento Remoto	19
3. METODOLOGIA	23
3.1 Coleta de Dados	23
3.2 Análise Laboratorial dos Nematóides	24
3.2.1 Análise Laboratorial dos Nematoides em Microscópio	25
3.3 Mapas	26
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	30
4.1 Análise Laboratorial	30
4.2 Mapeamento	30
5. CONCLUSÃO	35
REFERENCIAL TEÓRICO	36
APÊNDICE A – Imagens do Pomar e Pontos Coletados	43
APÊNDICE B - Nematoides identificados no microscópio.	48

1. INTRODUÇÃO

A macieira - *Malus domestica* - é uma planta da família das rosáceas de ciclo perene, porte arbóreo e com ciclo de vida média de 20 anos. Apresenta algumas peculiaridades quanto às exigências de frio para superação de dormência, solos com boa profundidade e fertilidade alta capacidade de drenagem (PETRI, 2008). Teve seu primeiro cultivo com caráter comercial no Brasil em meados de 1926, sendo apontado o município de Valinhos-SP como o local da propriedade e a cultivar escolhida sendo a Ohio Beauty.

No Brasil são produzidas aproximadamente 1,3 milhões de toneladas de maçã por ano, distribuídas nos cinco estados citados anteriormente. Segundo o IBGE (2022), o estado de Santa Catarina destaca-se como primeiro lugar neste ranking com uma produção anual de 635 mil toneladas, seguido por Rio Grande do Sul com 628 mil toneladas, Paraná com 30 mil toneladas, São Paulo com quatro mil toneladas e Minas Gerais também com quatro mil toneladas produzidas. Sendo assim, Santa Catarina configura 49% do total produzido nacionalmente de maçã.

Segundo o histórico regional, no Estado do Rio Grande do Sul, no ano de 1948, já existiam pomares com a cultivar Valinhense (Ohio Beauty) em outras propriedades no município de Caxias do Sul, tendo sequência no município de Veranópolis, onde foi plantada a cultivar José Bin. Diante dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento da cadeia produtiva no sul do país, em 1968, o Secretário da Agricultura de Santa Catarina vigente, Sr. Luiz Gabriel, submeteu um projeto voltado para o desenvolvimento desta atividade no Estado, sendo sucedido em dezembro do mesmo ano, pela criação do Profit – Projeto de Fruticultura de Clima Temperado, através da Lei nº 4.263. (PETRI *et al.*, 2011).

Desde sua implementação, o cultivo da maçã se expandiu em seus territórios e segundo dados extraídos da Epagri/Ciram em uma reportagem apresentada em abril de 2022 postada em seu site, que por meio do mapeamento por imagens de satélite dos 15.684 ha de pomares de maçã presentes em Santa Catarina, foi atestado que o município de São Joaquim se consolidou com a maior área plantada e conseqüentemente se tornou o

município produtor da fruta no Brasil com maior capacidade produtiva, com uma área estimada de 8.692 hectares, correspondendo com a participação de 26% entre a soma dos pomares de maçã do país.

A pesquisa também ajudou a consolidar Santa Catarina na liderança da cadeia produtiva de maleicultura (cultivo de maçã), reafirmando os levantamentos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, que afirmam que o estado responde por cerca de 48% da área plantada no Brasil, apresentando como um diferencial o fato de que Santa Catarina faz parte da única região do mundo a erradicar efetivamente a *Cydia pomonella*.

A pesquisa apurou que a produção em Santa Catarina se concentra em 30 municípios. Cinco deles representando a fração de 82% da área cultivada total do Estado: São Joaquim (55%), Fraiburgo (11%), Bom Jardim da Serra (8%), Urubici (4%) e Urupema (4%). Os cinco produtores mais presentes de Santa Catarina totalizam 12.913 ha, correspondendo a 39% de toda área do país. No Brasil, a área total de maçã está estimada em torno de 32.900 ha, segundo o último levantamento do IBGE referente ao levantamento da produção agrícola de 2021.

Segundo dados extraídos da plataforma da Epagri/Cepa estima que a safra 2021/22 de maçã em Santa Catarina seja 4,5% menor que o ciclo agrícola anterior, com redução de 5,07% na produtividade média. A queda reflete em fatores como a estiagem, que baixou em 13,55% as estimativas iniciais de colheita dos analistas (EPAGRI, 2022).

Devido a fatores ambientais, agronômicos e econômicos os levantamentos agrícolas acompanhados pela espacialização dos dados passaram a ser nos últimos tempos uma necessidade, pois transformam-se em informações estratégicas essenciais para a tomada de decisões voltadas ao planejamento, previsão de safra e em especial as com enfoque para as questões mercadológicas de certas culturas (BÉGUÉ *et al.*, 2018).

Atualmente, os levantamentos agrícolas são processados de forma declarativa por órgãos oficiais e fornecidos por dados apenas numéricos, não

permitindo a visualização da distribuição da cultura pelo espaço físico de forma integral. Como uma alternativa a esta situação, com a utilização de sistemas de informação geográficos e captura de imagens orbitais, os levantamentos podem ser elaborados de forma ágil e os resultados podem ser mensurados e especializados simultaneamente, possibilitando a representação espacial dos dados (BÉGUÉ *et al.*, 2018).

Portanto, com o engajamento das geotecnologias nos sistemas atuais de levantamentos agrícolas, estas análises têm sido possíveis, apanhando dados como estimativa da área plantada e produtividade agrícola de forma rápida e eficaz através da utilização dos dados orbitais (THENKABAIL *et al.*, 2015). A praticidade dos mecanismos de sensoriamento remoto permitem uma melhor ciência da dimensão das áreas, localizações geográficas, além de apontar ser uma boa estratégia para o planejamento de manejo e monitoramento agrícola (BELWARD; SKØIEN, 2015).

Com isso em mente, o presente trabalho tem como objetivo identificar a ocorrência de nematoides de galha em pomares convencionais de maçã na Serra Catarinense por meio da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Identificar a presença de fitonematoides em pomar convencional de maçã na Serra Catarinense com técnicas de sensoriamento remoto e agricultura de precisão.

1.1.2 Objetivo específico

- Realizar o georreferenciamento da área.
- Coletar materiais para análises microscópicas do solo na área experimental.
- Utilizar imagens de satélite para identificação de áreas afetadas por nematoides.

- Interpretação e análise dos dados com base na geoestatística.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Contextualizando a Maçã

A macieira (*M. domestica*) é uma planta da família das rosáceas de ciclo perene, porte arbóreo e com uma vida média de 20 anos. Devido a suas peculiaridades quanto a exigências climáticas de frio para superação de dormência, solos profundos, fertilidade e alta capacidade de drenagem. Essas condições ocorrem na região nordeste do Estado do Rio Grande do Sul e no sul do Estado de Santa Catarina como nos municípios de São Joaquim, Lages, Painel entre outros, especialmente em grandes altitudes, geralmente em áreas acima de 900 metros, as quais permitem o plantio de cultivares de médio com alto requerimento em horas de frio, como Gala e Fuji. Além disso, a região possui disponibilidade de terras para novos investimentos e a estrutura produtiva instalada, que inclui fornecedores de mudas, insumos, máquinas e equipamentos para produção e colheita, armazéns de beneficiamento e câmaras de armazenamento refrigerado (DE ANDRADE *et al.*, 2014).

A origem exata da espécie *Malus domestica* não é conhecida, embora existam indícios de que ela seja derivada da espécie *M. pumila* Mill, a qual apresenta ocorrências naturais no leste europeu e no oeste asiático. Desde sua introdução no Brasil, pelos primeiros colonizadores europeus, até o início da década de 60, o cultivo da maçã limitou-se a pomares domésticos exceto na da Região de Valinhos no estado de São Paulo (PETRI *et al.*, 2011).

No início da década de 70 por meio de incentivos da Secretaria da Agricultura, a qual criou o Profit – Projeto de Fruticultura de Clima Temperado, beneficiando pequenos e médios produtores (PETRI *et al.*, 2011).

O crescimento vegetativo está diretamente relacionado ao vigor da planta, bem como a sua adaptação às condições climáticas do local de cultivo, espaçamento de plantio, condições físicas e químicas do solo, disponibilidade hídrica e práticas de manejo adotadas. Por esta razão, o uso

de combinações enxerto-porta-enxerto, que proporcionem vigor moderado, está se tornando cada vez mais frequente (PETRI; LEITE, 2008).

No Brasil, as cultivares Fuji e Gala constituem cerca de 60% e 30% da produção, respectivamente. No início da década de 1980, foram incorporados clones destas cultivares que apresentavam uma melhor coloração, como por exemplo as variedades: Royal Gala, Imperial Gala, Maxi Gala, Fuji Suprema e Mishima. Estes materiais facilitaram efetivamente a exportação da produção e assim passaram a atender às exigências para a comercialização no mercado externo.(PETRI, *et al.*, 2011).

2.1.2 A expansão do cultivo da Maçã e Dados Produtivos

A utilização destas novas tecnologias de manejo de pomares pode ser considerada um dos maiores avanços na cultura da macieira em relação ao início da mesma no Brasil. O aumento da densidade de plantio é um dos fatores mais importantes no aumento da produtividade (BITTENCOURT *et al.*, 2011).

No Brasil, a maleicultura abrange 32.9 mil ha de área plantada e segundo o IBGE (2022), na safra 2021/2022 foram colhidas 628.592 toneladas de maçã somente entre os estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul, ambos participando com 96,91% do quantia produzida no país.

Santa Catarina movimentou aproximadamente R\$ 1.118.536 milhões em valor bruto de produção com uma área de 15.730 hectares e produziu 628.592 mil toneladas de maçã na safra 2020/21. Somente a mesorregião Serrana Catarinense participa com 48,45% da produção estadual na mesma safra (IBGE, 2022).

Em proporção municipal, São Joaquim, localizado na Serra Catarinense, é o local em que se é possível encontrar as melhores condições edafoclimáticas para o cultivo das macieiras essencialmente por conta das altitudes elevadas, por volta de 1.300 metros, fator importante para assegurar o número mínimo de horas de frio (HF) necessárias para a quebra da dormência das gemas e o desenvolvimento integral da planta (FAUST, 2000).

2.2 Nematoides e seus Impactos na Agricultura

Os nematoides de galha são amplamente conhecidos por sua capacidade de interações e estabelecimento de conexão entre fungos causadores de doenças (KHAN *et al.*, 2010).

O nematoide de galha também conhecido como *Meloidogyne incognita*, faz parte do grupo de fitonematoides considerados como mais importantes em todo globo por conta da sua vasta distribuição geográfica, alta gama de culturas hospedeiras e grande potencial gerador de prejuízos às culturas. Apresentam um estilete bucal usado para a inoculação de secreções e ingestão de nutrientes no ponto em que se alojam, rompendo as paredes celulares do sistema radicular das plantas hospedeiras (MONTEIRO, 2016).

No Brasil, sua incidência acontece em áreas que já tiveram o histórico de cultivo de café ou algodão nos estados de São Paulo, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Bahia e Paraná, mas já foram identificados casos em Santa Catarina (DIAS *et al.*, 2010).

Devido ao seu parasitismo migratório, os nematoides de galha tornam as raízes suscetíveis para o ataque de outros microrganismos presentes no solo como fungos e bactérias. As mudas plantadas em solo infestado geralmente não atingem o tamanho normal. Segundo Khan *et al.* (2013) o potencial de crescimento das macieiras é reduzido em cerca de 15 a 43% nos pomares infestados por *Meloidogyne* quando comparados com árvores cultivadas em áreas sem a manifestação do nematoide, em decorrência disto, a produção de frutos é reduzida nas árvores que se encontram em pomares com altos índices de infecção.

Enquanto grande parte dos danos causados pelos nematoides de galha ocorre abaixo do nível do solo, vários sintomas podem também ser observados na parte aérea das plantas. As plantas severamente infectadas constantemente exibem sintomas de murcha. Já que as raízes com galhas apresentam limitada capacidade de absorção e no transporte de água e nutrientes para o resto da planta, plantas severamente infectadas podem murchar até mesmo na presença de umidade suficiente no solo, especialmente durante o período da tarde (MITKOWSKI; ABAWI, 2003).

Os nematoides de galhas podem ser detectados parasitando a rizosfera das culturas economicamente importantes para o país, como soja, cana de açúcar, algodão, milho, café, bem como em plantas forrageiras, frutíferas e hortaliças, impactando radicalmente no crescimento das plantas e na viabilidade produtiva da cultura. As mutações radiculares, conhecidas como galhas, são o resultado do crescimento excessivo das células afetadas por secreções produzidas pelas glândulas esofágicas das larvas parasitas (SILVA, 2016).

Em relação à produção frutífera destacam-se os problemas na cultura da goiaba devido ao ataque de *M. enterolobii* em especial na região de Petrolina, PE (CARNEIRO *et al.*, 2001), o nematoide cavernícola (*R. similis*) originando perdas em bananais no Nordeste, Sudeste e Sul do País (DA SILVA *et al.*, 2016), e nas culturas da ameixa e do pêssego, sobressai a ação do *M. xenoplax* como espécie de importância que provocam prejuízos para a fruticultura do país (GOMES *et al.*, 2010).

Os fitonematoides são responsáveis por perdas estimadas em cerca de 14,6% da totalidade produzida em culturas tropicais e subtropicais, implicando em um prejuízo econômico anual previsto em mais de US \$ 173 bilhões por todo o mundo, e por consequência impactando significativamente na alimentação global (NICOL *et al.*, 2011; ELLING, 2013).

No Brasil, segundo Machado (2015) as perdas causadas por nematoides na agricultura são de aproximadamente R\$ 53 bilhões (em torno de USD 10 bilhões). A média global estimada para perdas de rendimento anual causada por nematoides em frutas e hortaliças está em torno de 12% e 11%, respectivamente (RAVICHANDRA, 2014; RAO *et al.*, 2016). Por conta dos sintomas provocados pelos nematoides serem geralmente inespecíficos, as perdas da hortifruticultura causadas por estes organismos são constantemente subestimadas (PINHEIRO; BISCAIA, 2019).

Os sintomas na parte aérea das plantas normalmente são observados em grupos de plantas (ou focos) no campo denominados de reboleiras. Por se moverem lentamente na solução do solo, a infestação causada por nematoides irá gradualmente aumentar radicalmente a partir de um ponto

inicial de infecção. Este fato pode causar em um grande foco de plantas infectadas por nematoides cercado por plantas aparentemente saudáveis (MITKOWSKI; ABAWI, 2003).

As fêmeas apresentam coloração esbranquiçada, brilhantes e esféricas, seu tamanho varia de 0,5 mm até mesmo acima de 2 mm sendo inaptas para deslocamentos, dependendo essencialmente do parasitismo para sobreviverem. Os machos possuem corpos tubulosos, alongados, com diâmetros quase constantes ao longo de seu corpo, afinando de forma progressiva nas pontas. Normalmente a extensão do corpo fica em torno de 500 µm por 15 µm de largura (MONTEIRO, 2016).

De uma forma geral, ele se desenvolve em temperaturas entre 25 °C e 30 °C em solos de textura mais arenosa, com umidade próxima à capacidade de campo. No entanto, dependendo da espécie do nematoide, outros fatores como pH e capacidade de troca de cátions (CTC) podem também favorecer o seu desenvolvimento, em locais com plantas hospedeiras suscetíveis (FRANZON *et al.*, 2019).

2.2.1 Ciclo reprodutivo dos Nematoides

O ciclo de vida do *meloidogyne incognita* é constituído por quatro estágios juvenis antes de atingir a fase adulta, e se inicia com a postura dos ovos feita pelas fêmeas. A primeira ecdise (troca do revestimento), acontece dentro do ovo configurando o primeiro estado (J1). Após isso o juvenil de segunda fase (J2) eclode de seu ovo e faz o processo migratório rumo às raízes, sendo atraídos por conta das exsudações radiculares da planta hospedeira. A penetração geralmente acontece na região próxima à coifa da raiz, prossegue em seu deslocamento migratório intracelular no interior do córtex até chegar à região do parênquima vascular, onde designa seu local de alimentação. Tornando-se a partir deste momento endoparasita sedentário (AGRIOS, 2005).

Os fluidos produzidos pelas glândulas esofágicas dos nematoides desencadeiam o desenvolvimento de grupos celulares hipertróficos nas raízes parasitadas, as quais passaram a ser sua fonte de nutrientes para o seu

desenvolvimento. Ao longo desse processo, o nematoide aumenta aceleradamente de tamanho e passa por novas etapas, com o seguimento dos 3º e 4º estágios juvenis (J3 e J4) e, por fim, atingindo o estágio adultos (podendo ser fêmea ou macho). Na última ecdise, o macho se encontra com formato longo e delgado, já as fêmeas, de início, conservam o mesmo formato do último estágio juvenil, mas dilatam-se quando se tornam adultas e assumem um formato semelhante a uma pêra. Quando as condições para o desenvolvimento dos fitoparasitas é ideal, normalmente as fêmeas possuem maiores populações desenvolvidas (FREITAS; OLIVEIRA; FERRAZ, 2008).

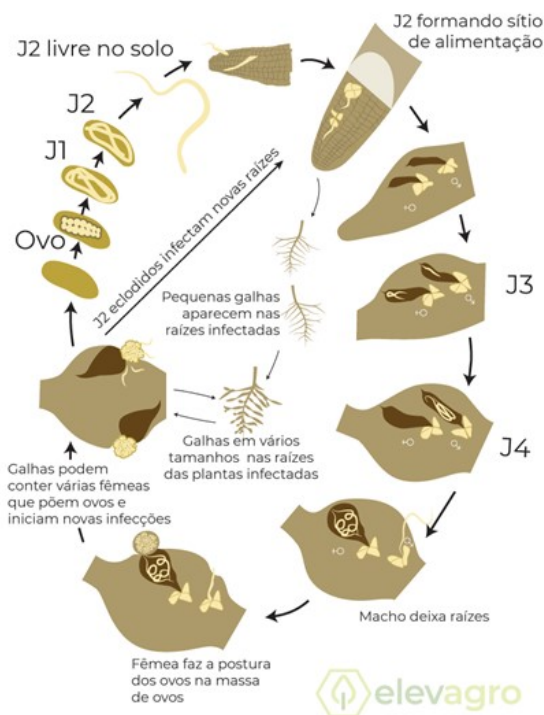
Os machos não agem como parasitas nas plantas, possuem um ciclo de vida curto e logo desocupam a planta hospedeira, ao contrário das fêmeas que continuam na galha. Não ocorrendo o acasalamento em espécies partenogênicas, os machos permanecem no solo até a morte. A postura dos ovos realizada pela fêmea completa o ciclo de vida do nematoide. Normalmente, são depositados cerca de 500 a 700 ovos. Os ovos são colocados em uma massa gelatinosa, transparente, que os mantêm aglomerados. A duração de todo o ciclo é altamente influenciada pela temperatura, umidade e suscetibilidade da planta hospedeira, tendo como duração média de 25 dias, em temperaturas perto de 28°C (MONTEIRO, 2016).

O ciclo reprodutivo do *M. incognita* leva em torno de de três a quatro semanas no verão e durante o inverno, este tempo pode ser ampliado para até sete semanas, deste modo, a duração total do ciclo de vida é fortemente influenciável pela temperatura e tem a tendência de se estender conforme a temperatura do solo decai. A sobrevivência do nematoide de galha e seu ciclo de vida dependem do bom desenvolvimento da planta hospedeira e das condições ambientais (AGRIOS, 2005).

Por conta do fato de que os nematoides se movem lentamente no solo (durante o ano, supostamente não ultrapassando um raio de 50 cm), sua principal forma de propagação é a passiva, realizada através da movimentação do solo, água, implementos agrícolas contaminados, homens e

animais nas áreas de cultivo e pela utilização de mudas contaminadas (PINHEIRO; AMARO; PEREIRA, 2011).

Figura 1 - Ciclo do nematoide de galha (*Meloidogyne incognita*).



Fonte: Adaptado de Agrios (2005).

2.3 Sensoriamento Remoto

Com a globalização econômica, o setor agrícola passou a enfrentar uma crescente corrida com a competitividade pelo valor dos seus produtos e a necessidade de apresentar produtos com níveis de qualidade aceitos internacionalmente (SILVA *et al.*, 2008). Analisando este contexto a competitividade internacional pode ser definida como a capacidade de um país para se sustentar e ampliar a sua participação nos mercados estrangeiros (FAJNZYLBBER, 1988).

Segundo Guedes, Sena e Toledo (2012), existem programas de qualidade na cadeia produtiva que têm sido aplicados em vários ramos da cadeia produtiva, incluindo o de frutas, com forte aceitação internacional. A agricultura de precisão trabalha com técnicas e tecnologias para coleta de informações durante o acompanhamento da lavoura e no momento da

colheita, para que após isso seja possível a geração de mapas para servirem de apoio para interpretação dos resultados obtidos (LONGO *et al.*, 2017).

As imagens de sensores remotos apresentam diferentes características que fazem com que sejam úteis às mais variadas aplicações, desde estudos globais, programas de monitoramento contínuo em grandes áreas, até estudos pontuais em escalas detalhadas como o ambiente urbano ou a agricultura de precisão (AP) (BASSOI *et al.*, 2014).

Conforme Aggelopoulou *et al.* (2013), a AP nos pomares de maçãs pode melhorar a estrutura do solo, acentuar a qualidade dos frutos de acordo com as expectativas de mercado e reduzir os impactos da poluição ambiental causada pelo uso excessivo de agroquímicos.

Tradicionalmente, a agricultura se expandiu à custa do meio ambiente. Entretanto, com a crescente valorização da sustentabilidade, de maneira abrangente e internacionalizada, a agricultura foi incentivada a crescer em harmonia com a preservação e recuperação do meio ambiente (BUAINAIN, 2016).

Uma das práticas da AP estuda as variações espectrais dos diferentes alvos encontrados na superfície terrestre utilizando técnicas de sensoriamento remoto, o que requer um conhecimento dos padrões espectrais de cada um destes alvos. A radiação incidente nos alvos, pode interagir de maneiras diferentes conforme a morfologia do objeto de estudo, e é seletiva em relação ao comprimento de onda específica para cada tipo de material, em função de sua estrutura atômica e molecular (SLATER, 1980).

Em estudos da cobertura vegetal é possível extrair informações sobre a distribuição dos diferentes tipos de vegetação, estrutura do dossel da planta, estados fenológicos, condições de estresse, carência de nutrientes, entre outros parâmetros (PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

Estruturas internas e externas das plantas e suas interações com a radiação eletromagnética, tem um impacto direto na forma como as folhas e os dosséis vegetais aparecem espectralmente quando registrados utilizando instrumentos de sensoriamento remoto (JENSEN, 2009).

A reflectância no visível e infravermelho próximo da vegetação tem sido amplamente estudada para caracterizar as bases físicas e fisiológicas da vegetação (KNIPLING, 1970; ZHANG *et al.* 2003). Por outro lado, a utilização de comprimentos de onda do verde e infravermelho próximo, evitam a saturação e a perda concomitante da sensibilidade, para valores de clorofila, sendo geralmente preferidos pois são mais sensíveis a moderados e altos teores de clorofila (HATFIELD *et al.*, 2008).

A interação característica da vegetação é distinta para as diferentes faixas do espectro eletromagnético, fazendo com que a reflectância tenha grande variação para diferentes comprimentos de onda, permitindo que informações diferentes sobre as propriedades da vegetação possam ser detectadas. O comportamento típico a vegetação vigorosa mostra uma reduzida reflectância nas bandas do visível (devido ao efeito absorvente dos pigmentos fotossintéticos como a clorofila, xantofila e carotenos), tendo um máximo relativo na faixa verde do espectro (a 550 nm). No entanto, no infravermelho próximo apresenta uma elevada reflectância (por conta do mesófilo esponjoso, o qual difunde e dispersa a maior parte da radiação incidente), reduzindo-se aos poucos até infravermelho médio (devido ao efeito absorvente da água).

A função principal é fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para posterior interpretação (CROSTA, 1999). Um segmento importante do processamento digital de imagens, consiste na execução de operações matemáticas dos dados, visando as suas transformações em imagens de melhores qualidades espectrais e espaciais e que sejam mais apropriadas para uma determinada aplicação (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A tecnologia nesse cenário é parte imprescindível e estratégica para o desenvolvimento de toda a cadeia produtiva da agricultura. Neste momento, as mais variadas inovações estão sendo incorporadas no cotidiano do homem do campo, seja na pequena agricultura familiar, seja nos grandes e complexos agronegócios. Sistemas de administração rural, sistemas de monitoramento de variáveis meteorológicas, irrigação inteligente, agricultura de precisão,

tratores autônomos, sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas são alguns destes exemplos de inovação (MASSRUHÁ; LEITE; MOURA, 2014).

Na obra de Massruhá, Leite e Moura (2014), é feita a observação de que o desenvolvimento de tecnologias para o campo está sujeito aos grandes desafios impostos pela peculiaridade do setor como: a heterogeneidade inerente ao ecossistema de produção agrícola, os eventos extremos da atmosfera, a grande dispersão geoespacial, os requisitos da segurança alimentar, variabilidade e diversidade das culturas.

Segundo Meneses e Almeida (2012), pode-se definir a reamostragem como o processo de extrapolar os valores digitais para os pixels da imagem corrigida, a partir dos valores digitais dos pixels de fonte. Para determinar o valor dos pixels do grid corrigido, utiliza-se o método de interpolação de valores do pixel. A nova imagem é então reamostrada inteiramente, sendo o valor de cada um de seus pixels determinado com base na interpolação dos valores dos pixels mais próximos da imagem original. Existem vários métodos de interpolação, com diferentes precisões. Os métodos mais comuns são: vizinho próximo, interpolação bi linear e convolução cúbica.

Existem projetos de mapeamento e monitoramento agrícolas já implementados e em execução em alguns países, como o Geoglam na Europa (Global Agricultural Monitoring), responsável por monitorar por meio de imagens do tipo Sentinel e MODIS algumas culturas como arroz, trigo, milho e feijão (WHITCRAFT *et al.*, 2018).

Dados numéricos e espaciais referentes à cultura da maçã são escassos até o presente momento no estado de Santa Catarina, entretanto com o advento de satélites com alta resolução espacial e temporal como o Sentinel-2B e Cbers-4, o processo de identificação e mapeamento atualmente se torna viável, principalmente pelo fato de Santa Catarina apresentar uma estrutura fundiária composta majoritariamente por pequenas áreas e pequenos pomares (TRABAQUINI *et al.*, 2021).

3. METODOLOGIA

A pesquisa possui caráter quantitativo, com amostragem randômica e representativa para a área do pomar, tendo como instrumentos de pesquisa utilizados: a entrevista direta com o produtor (com relação aos tratos culturais e histórico da área), análises laboratoriais para realiza a identificação da presença dos nematoides nos pontos amostrais e a formulação de mapas da ação dos nematoides à campo baseados na geostatística.

As discussões dos resultados foram pautadas em uma estatística descritiva utilizando uma forma de coleta de dados na modalidade contínua.

3.1 Coleta de Dados

No dia 03/11/2022 foi realizada a visita à propriedade localizada no município do Painei - SC sob as coordenadas: (S) -27.926744, (W) -50.078909.

Segundo o histórico desse pomar, poucos meses após o plantio foram perdidas cerca de 900 mudas na área, contendo uma presença expressiva de formação de galhas nas raízes e de espécimes de fitonematoides de galha conforme identificado por Amorim (2019). Atualmente a área possui 5 anos e em uma conversa com o proprietário e o arrendatário, foram coletadas as seguintes informações: as mudas que apresentaram sinais do patógeno utilizavam o porta-enxerto Maruba direto e eram das cultivares Fuji e Maxi Gala.

Como forma de manejo eles utilizaram a aplicação de fosfito puro nas plantas que apresentavam sintomas de interferência do patógeno, conforme recomendado pela assistente técnica da área, sendo importante ressaltar este fato pois, o intuito do trabalho se baseia mais na aplicabilidade da utilização das técnicas de sensoriamento remoto no reconhecimento da presença da doença em pomares de maçã do que na caracterização e identificação do gênero específico da espécie de nematoide de galha (Apêndice A).

Foram coletados em 10 pontos ao longo da quadra localizada próximo á estrada (cerca de 17,350 m²), amostras de solo e raízes em uma profundidade de 0 - 20 cm com enxadão (amostragem simples) - sendo

acondicionadas em sacos de plástico devidamente identificados e reservadas em geladeira para processamento nos laboratórios do IFSC Campus Lages.

O critério de seleção para os pontos de coleta se baseia na avaliação de plantas que apresentassem alguma característica visual de anomalias fisiológicas segundo Mitkowski e Abawi (2003) em seu desenvolvimento vegetativo condizentes com os efeitos da presença e manifestação do nematoides no solo e raízes em torno da muda.

3.2 Análise Laboratorial dos Nematóides

As análises foram realizadas no laboratório de microbiologia do IFSC Lages, as técnicas de processamento das amostras foram retiradas do manual técnico elaborado pela Sociedade Brasileira de Nematologia (2019). Os processamentos de análise das amostras de solo foram feitos seguindo o Método de Jenkins (1964) com algumas modificações feitas pela autora.

Separou-se o solo das raízes de forma manual homogeneizando a parte do solo das amostras, após isso foi retirado uma amostra de 50 cm³ de solo (50 gramas) pesada em beakers de 100 mL para o processamento. Em um becker de plástico foram adicionados 2 litros de água e a alíquota de solo para serem solubilizadas. A suspensão de solo foi então passada por uma estrutura composta de 2 peneiras, sendo a primeira de 20 *mesh* e a segunda de 400 *mesh*, os sedimentos restantes que ficaram no balde foram descartados bem como as impurezas que porventura ficaram retidas na peneira de 20 *mesh* (a 1^a). Os nematoides retidos pela peneira de 400 *mesh* foram transferidos para tubos Falcon de 50 mL utilizando um tubo por amostra, tendo como parâmetro base a marca de 40 mL preenchida com um pissete de água deionizada quando necessário para fins de balanceamento para a próxima etapa.

Antes de prosseguir com o tratamento das amostras para a coleta de nematoides, a centrífuga utilizada para o experimento (NT 810 - Novatecnica) foi calibrada para trabalhar em 550 G (1700 rpm/G), em um ciclo de 5 minutos e em outro de 1 minuto. Para o cálculo de quantas rotações por minuto seriam necessárias para atingirmos a força gravitacional desejada, utilizou-se a

fórmula: $n = 299\sqrt{RFC/r}$, onde n refere-se ao número de rpm, o r ao raio do motor da centrífuga (medido em centímetros a partir do fundo do tubo) e o RFC que representava a força centrífuga relativa ou a força G.

Após o primeiro ciclo de centrifugamento (5 minutos) foi descartado o sobrenadante das amostras de cada tubo (10). Em seguida foi adicionada uma solução de sacarose (com a densidade ajustada para 1,15 - formulada pesando 401 gramas de açúcar e completando o volume para 1000 mL de água destilada) completando o volume do tubo Falcon até atingir a marca de 40 mL. Sendo balanceados e processados na centrífuga para o ciclo de 1 minuto com a mesma rotação anterior (2º ciclo).

Após a centrifugação, o conteúdo do sobrenadante foi vertido em uma peneira de 400 *mesh* e lavado cuidadosamente com água para a solução de sacarose e separados em um novo tubo Falcon de 50 mL para posterior análise.

3.2.1 Análise Laboratorial dos Nematoides em Microscópio

Após as dez amostras serem processadas, foram encaminhadas para a realização da quantificação dos nematoides utilizando um microscópio óptico. Seguindo a metodologia de Southey (1986), com adaptações feitas pela autora para contabilizar o número de juvenis (J2) presentes para cada 1 mL de alíquota analisada.

Utilizando uma Micropipeta de 1000 µL calibrada para coletar 250 µL, foram retiradas uma alíquota de cada tubo Falcon os quais foram agitados de antemão e espalhadas em uma lâmina de microscópio adaptada com quadrantes delimitados com caneta de vidraria, semelhantes a uma Câmara de Peters utilizada para contagem de nematoides.

Sendo anotados os dados de números de nematoides juvenis e ovos presentes e o valor final da amostra em mililitros com o auxílio de uma proveta graduada de 50 mL. Segundo o Método de Jenkins (1964), o valor inicial da amostra de solo pesada deveria ser de 100 gramas, porém conforme observado na etapa de processamento anterior fez-se necessário a adaptação para amostras de 50 gramas. Em decorrência disso para obter a

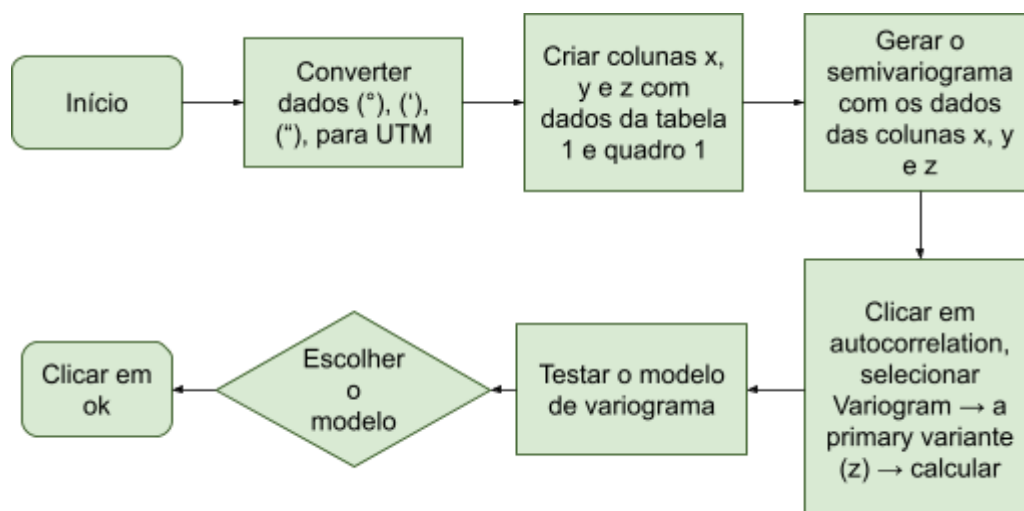
estimativa da população de nematoides por cada 100 gramas de solo foram realizados os seguintes cálculos: número de espécies identificados no microscópio (N^n) multiplicados por 4 (valor correspondente para atingir 1 mL de amostra), por 2 (valor correspondente para atingir 100g de amostra) e pelo volume final atingido de amostra (mL), representados na fórmula: $N^n * 4 * 2 * \text{mL}$.

3.3 Mapas

No momento da coleta das amostras de solo foram gerados pontos de marcação com o GPS Garmin - Etrex, sob o Datum de mapa: WGS84, Zona 22 Sul, com precisão local aproximada de 4 metros, constituindo os dados para análises de discussões posteriores (Quadro 1).

O geoprocessamento dos dados foi realizado utilizando três programas: GS+, QGIS e SURFER®.

Figura 2 - Fluxograma do geoprocessamento dos dados pelo programa GS +.



A primeira etapa consistiu em coletar os pontos de coordenadas gerados pelo GPS (Quadro 1) e converter o padrão de graus (°), minutos (') e segundos (") para UTM.

As coletas de pontos realizadas pelo GPS Garmin geraram a relação de dados contidos no quadro 1 a seguir:

Quadro 1: Dados coletados pelo GPS Garmin.

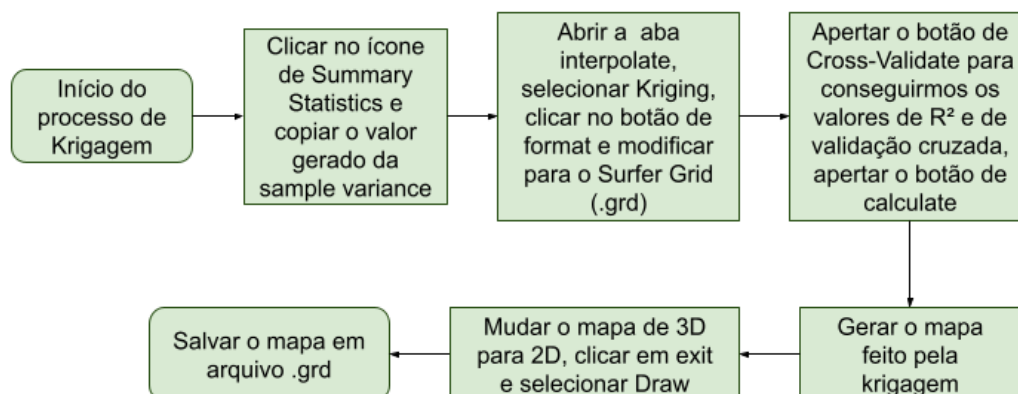
Identificação do Ponto	Coordenada	Altitude
Pn1	S 27°55'36.6" W 050°04'43.0"	1049 metros
Pn2	S 27°55'35.6" W 050°04'43.4"	1071 metros
Pn3	S 27°55'34.6" W 050°04'43.6"	1084 metros
Pn4	S 27°55'33.5" W 050°04'43.7"	1102 metros
Pn5	S 27°55'31.3" W 050°04'44.0"	1115 metros
Pn6	S 27°55'31.4" W 050°04'43.1"	1131 metros
Pn7	S 27°55'31.9" W 050°04'42.8"	1143 metros
Pn8	S 27°55'32.8" W 050°04'42.7"	1146 metros
Pn9	S 27°55'33.6" W 050°04'41.5"	1150 metros
Pn10	S 27°55'34.7" W 050°04'41.3"	1154 metros

Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.

Selecionando o modelo Gaussiano para exemplificar os dados levando em consideração o menor valor do efeito pepita, observando os valores de patamar e de alcance, o maior valor de R^2 , e o maior valor de proporção. Considerando que os valores mais próximos de 1 apresentam uma proporção melhor, bem como os valores de R^2 e que com relação ao efeito pepita quanto menor for o seu valor melhor será para os dados.

Em seguida iniciou-se o processo geração do mapa e interpolação por krigagem, sendo os parâmetros ajustados aos semivariogramas utilizados para a krigagem dos dados e elaboração dos mapas (Figura 3).

Figura 3 - Interpolação dos dados por krigagem e geração do mapa pelo programa GS +.



Gerado o mapa no GS+ (Figura 3) foi exportado em arquivo compatível com o SURFER®, mas antes foi necessário gerar a borda de delimitação (máscara) para fazer o recorte da área de estudo no QGIS (Figura 4).

Figura 4 - Delimitação da camada de borda da área de estudo no QGIS.

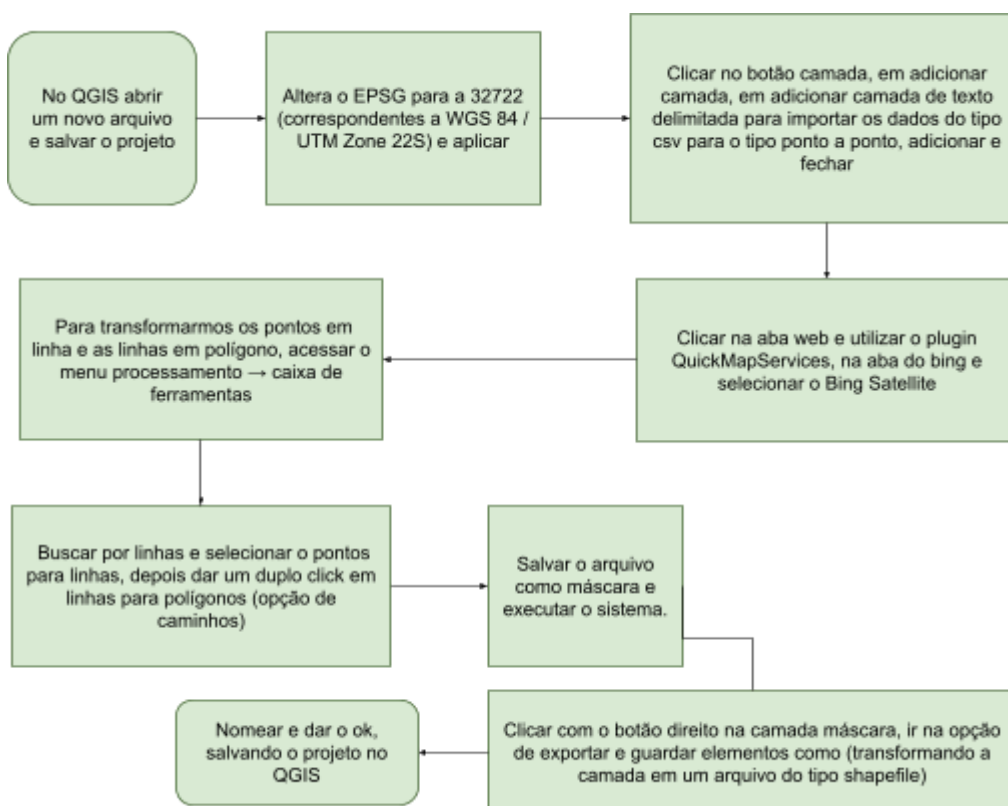
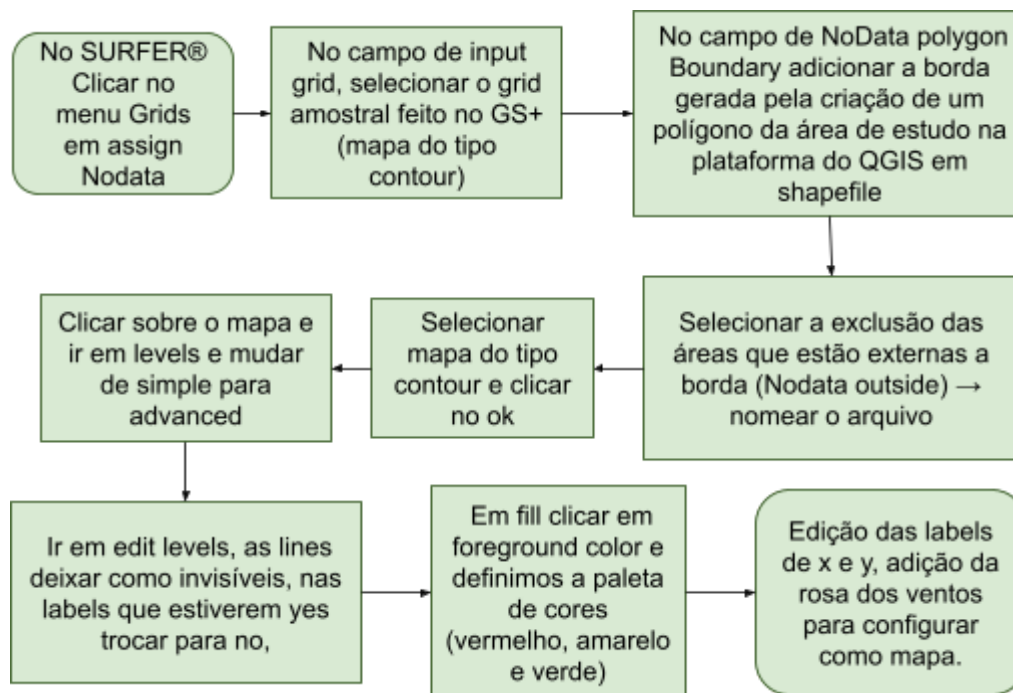


Figura 5 - Geração e edição do mapa no SURFER®.



No mapa foi utilizado a cor vermelha para áreas com estado maior população de fitonematoides, a amarela para áreas que necessitam de atenção e a verde para áreas que apesar de apresentarem o patógeno não necessitam de preocupações eminentes, (menor população de nematoides em verde, o meio termo em amarelo e o maior valor de indivíduos em vermelho, segundo o intervalo de 400 a 4400 gerado após a quantificação das amostras no microscópio), (Tabela 1).

Após o processo de interpolação por krigagem (processo que visa calcular o peso que será dado a cada amostra para a estimativa de pontos não amostrados) utilizando os dados gerados no GS+, importados para o programa de modelamento SURFER® foi possível gerar o mapa apresentado na Figura 6.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Análise Laboratorial

Após a quantificação das amostras segundo Southey (1986), com adaptações, foi possível atestar que na área de estudo todos os pontos coletados apresentaram foco de populações de nematoides, ainda que seu desenvolvimento populacional não indicasse homogeneidade entre si.

Tabela 1: Estimativa populacional de nematoides por ponto amostral.

Amostra	Número de nematoides para cada 100g de solo.
Pn 1	448 - Ovos + juvenis J2
Pn 2	2400 - juvenis J2
Pn 3	640 - juvenis J2
Pn 4	4224 - juvenis J2
Pn 5	1368 - juvenis J2
Pn 6	1920 - juvenis J2
Pn 7	1984 - juvenis J2
Pn 8	2808 - juvenis J2
Pn 9	1392 - juvenis J2
Pn 10	1568 - juvenis J2

Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.

Conforme descrito na Tabela 1, o 4º ponto (Pn4) apresentou a maior concentração populacional estimada por cada 100 gramas de solo com 4224 indivíduos, sendo a população considerada como elevada tendo em base os valores semelhantes encontrados por Mendes *et al.* (2012), Carvalho *et al.* (2013).

4.2 Mapeamento

Os dados de coordenadas foram utilizados para a realização das análises geoestatísticas no programa GS+, onde formaram o semivariograma utilizando o modelo Gaussiano devido a maior compatibilidade com a variável de estudo em questão (população de nematoides) e ajustado já que na interpolação por krigagem foram necessários os valores da semivariância disponíveis para qualquer distância dentro do limite do alcance. Os modelos e parâmetros calculados para o semivariograma estão apresentados na tabela

2.

Tabela 2 – Modelo e parâmetros do variograma médio escalonado ajustados aos dados fitonematológicos.

Variável	Modelo	C _o	C _o + C	a (m)	IDE	R ²	R ² (vc)
Número de nematoides	Gaussiano	0.000831	1.05682	47.6314	99.92132	0.427	0.283

C_o – efeito pepita; C_o+C – patamar; a – alcance; R₂ – coeficiente de determinação; IDE – índice de dependência espacial; - R₂ (vc) – coeficiente de determinação da validação cruzada.

Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.

Na análise do índice de dependência espacial das variáveis em estudo, utilizou-se a relação $(C / C_0 + C)$ e os intervalos propostos por Zimback (2001), que consideram a dependência espacial fraca ($IDE \leq 25\%$); moderada ($25\% < IDE \leq 75\%$) e forte ($IDE > 75\%$).

Com relação ao efeito pepita (C_o), (valor positivo que revela a descontinuidade do semivariograma para distâncias menores do que a menor distância entre as amostras), o valor apesar de baixo segundo Journel & Huijbregts (1978) e Vieira (2000), demonstra que a área é de fato heterogênea uma vez que não gerou o efeito pepita puro, e apresenta dependência espacial entre os pontos amostrados.

Isso significa que no momento de aplicação e manejo da doença no pomar, as doses aplicadas serão diferentes, esta distinção de aplicação permite que o produtor seja capaz de reduzir a quantidade de produto aplicado na área e tenha melhor controle da doença enquanto reduz seus gastos e desperdícios de defensivos agrícolas.

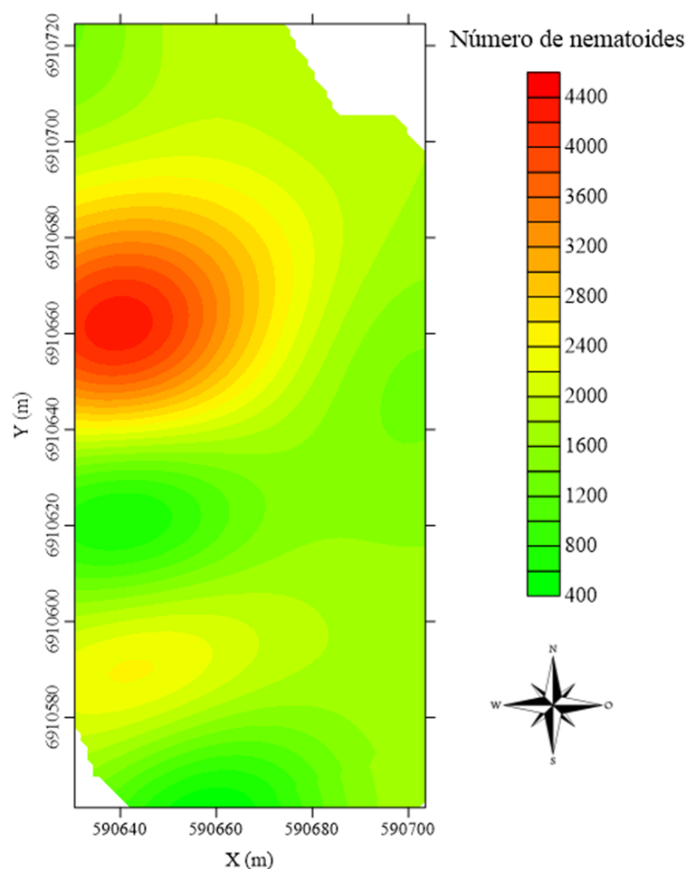
Segundo os resultados da Tabela 2, a área de alcance de cada planta apresenta um raio de 47,6 metros podendo ser aplicada para todos os pontos coletados. O que significa que dentro deste raio as plantas sadias que se encontrarem nele estão suscetíveis a contaminação por nematoides se não forem aplicadas as técnicas de manejo corretas. O índice de dependência espacial (IDE) foi categorizado como alto segundo Zimback (2001) atingindo 99,9%.

Estes dados possibilitam a interpretação de que as reboleiras identificadas por satélite nesta área são consequência da dependência espacial causada pelos nematoides e que as faixas de terra que apresentarem alguma desconformidade ultrapassando este perímetro não podem ser consideradas como feitas por ação da presença de nematoides sem que sejam executadas novas coletas e análises.

Com relação aos dados de coeficiente de determinação (R^2) e coeficiente de determinação da validação cruzada ($R^2(vc)$) - relação entre cada ponto amostral - apesar de poderem ser interpretados como baixos, são um reflexo do número de amostras coletadas (10 pontos). Para atingir valores maiores seriam necessário uma amostragem composta por no mínimo 30 pontos, considerando que a modelagem de dados geoestatísticos não obedece padrões pré-definidos, os valores encontrados nos cálculos da geoestatística de 0.43 e 0.28, respectivamente, possuem validade para atestar a confiabilidade dos dados.

Após o processamento dos dados foi possível gerar o mapa apresentado na Figura 6.

Figura 6 - Distribuição espacial de fitonematoides em área experimental pesquisada de pomar de maçãs localizado em Painei, SC.

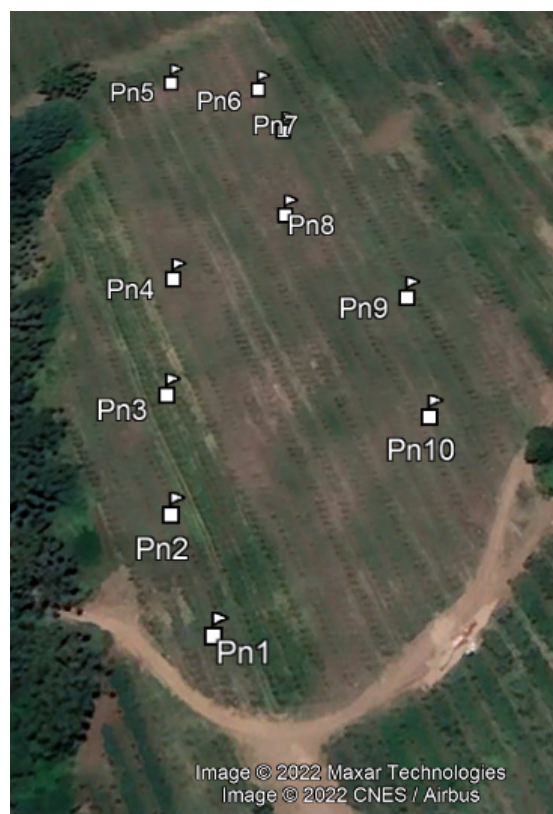


Fonte: Elaborado a partir de dados gerados pela autora, em 2022.

Os dados referentes à altitude dos pontos coletados nos ajudam a interpretar os possíveis fatores para a ocorrência de distinção da concentração de populações de nematoides apresentados no mapa anterior. Já que as cotas do terreno do pomar e suas diferenças de declividade podem ser fatores contribuintes para explicar o motivo de porque no ponto 4 (Pn4) encontramos uma maior contaminação de nematoides.

Quando comparados à imagem de satélite gerada com a identificação dos pontos amostrais (Figura 7) com o mapa (Figura 6) nota-se que a ocorrência do nematoide no pomar é possível de ser constatada através do sensoriamento remoto e da geoestatística.

Figura 7 - Pontos amostrais na área.



Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.

5. CONCLUSÃO

O sensoriamento remoto é viável como ferramenta para identificação de focos de nematoide em pomares de maçã desde que atrelados a análises *in loco*. Seus dados podem ser utilizados para tomada de decisões mais assertivas no momento da aplicação e manejo integrado de pragas na propriedade.

Por se tratar de uma área com histórico de contaminação os pontos analisados demonstraram a presença expressiva de reboleiras causadas por nematoides no pomar, uma vez que em todos houveram ocorrências do patógeno. Por se tratar de um pomar comercial a presença de nematoides indica possíveis perdas econômicas na produção ao longo da safra, se o manejo da doença não for feito com eficiência.

O trabalho apresenta potencial para continuidade, com o aumento do número de amostras coletadas e análise do efeito da presença do fitoparasita em outras áreas da propriedade.

REFERENCIAL TEÓRICO

AGGELOPOOULOU, Katerina et al. Delineation of management zones in an apple orchard in Greece using a multivariate approach. *Computers and Electronics in Agriculture*. Grécia, v. 90, p. 119-130, Jan. 2013.

AGRIOS, George N. *Plant pathology*. Elsevier, 2005.

AMORIM, A. D. Identificação de nematoide de galha em raízes e solos de plantação de maçã localizada em Painei - SC. Projeto integrador curso Técnico em Biotecnologia IFSC Lages. 2019. Dados não publicados.

DE ANDRADE, Suélen Braga et al. Concepção e análise econômica de uma estação de embalagem de maçãs in natura. *Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial*, v. 8, n. 2, 2014. <https://doi.org/10.3895/s1981-36862014000200006>.

BASSOI, L. H. et al. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. 2014.

BÉGUÉ, Agnès; ARVOR, Damien; BELLON, Beatriz; BETBEDER, Julie; DE ABELLEIRA, Diego; FERRAZ, Rodrigo P.D.; LEBOURGEOIS, Valentine; LELONG, Camille; SIMÕES, Margareth; VERÓN, Santiago R. Remote sensing and cropping practices: A review. **Remote Sensing**, vol. 10, no. 1, p. 1–32, 2018. <https://doi.org/10.3390/rs10010099>.

BELWARD, Alan S.; SKØIEN, Jon O. Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, vol. 103, p. 115–128, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.03.009>.

BITTENCOURT, Cleiton Cardoso et al. A cadeia produtiva da maçã em Santa Catarina: competitividade segundo produção e packing house. *Revista de Administração pública*, v. 45, p. 1199-1222, 2011.

BUAINAIN, Antônio M. Tendências do agronegócio no Brasil. SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE FRUTICULTURA DE CLIMA TEMPERADO, 12, 2016.

Anais... São Joaquim, SC: Empresa Catarinense de Pesquisa Agropecuária. Jun. 2016.

CARVALHO, Cassia de et al. Densidade populacional de *Pratylenchus* spp. em pastagens de *Brachiaria* spp. e sua influência na disponibilidade e na qualidade da forragem. *Revista Ceres*, v. 60, p. 30-37, 2013.

CARNEIRO, Regina MDG et al. Primeiro registro de *Meloidogyne mayaguensis* em goiabeira no Brasil. Embrapa Semiárido-Artigo em periódico indexado (ALICE), 2001.

CROSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. UNICAMP/Instituto de Geociências, 1999.

DIAS, Waldir Pereira et al. Nematóides em soja: identificação e controle. 2010.

ELLING, Axel A. Major emerging problems with minor *Meloidogyne* species. *Phytopathology*, v. 103, n. 11, p. 1092-1102, 2013.

EPAGRI, Boletim Agropecuário, Florianópolis, n. 109 , p. 5-8, 2022.

FAJNZYLBER, Fernando. Competitividad internacional: evolución y lecciones. *Revista de La Cepal*, Santiago de Chile, n. 36, p. 7-24, 1988.

FAUST, M. (2000) - Physiological considerations for growing temperate-zone fruit crops in warm climates. In: Erez, A. (Ed.) - *Temperate fruit crops in warm climates*. Kluwer Academic Press, Dordrecht. p. 137-156.

FRANZON, R. C. et al. Pêssego, nectarina e ameixa: o produtor pergunta, a Embrapa responde. p. 226. 2019.

FREITAS, L. G.; OLIVEIRA, R. D. L.; FERRAZ, S. Introdução à Nematologia: caderno didático, nº 58. Viçosa: Editora UFV, 2008.

GOMES, Cesar Bauer et al. Avaliação do potencial de coberturas verdes e de sistemas de rotações de cultura na supressão do nematoide anelado (*Mesocriconema xenoplax*) em pré-plantio ao pessegueiro. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 32, p. 074-081, 2010.

GUEDES, Maria S. B.; SENA, Marcos; TOLEDO, Sebastião. Certificação como estratégia competitiva internacional dos produtores de frutas no Brasil. 2012.

HATFIELD, J. L. et al. Application of spectral remote sensing for agronomic decisions. *Agronomy Journal*, v. 100, n. Supplement 3, p. S-117-S-131, 2008.

IBGE (2018) - Quantidade produzida e rendimento médio de maçã. 2016. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. [cit. 2018.09.24]. <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/pam/tabelas>.

IBGE, Produção Agrícola Municipal 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

JENKINS, W. R. B. et al. A rapid centrifugal-flotation technique for separating nematodes from soil. *Plant disease reporter*, v. 48, n. 9, 1964.

JENSEN, J.R. (2009) Sensoriamento remoto do ambiente: Uma perspectiva em recursos terrestres. Translated by: Epiphany, J.C.N., Formaggio, A.R., Santos, A.R., Rudorff, B.F.T., Almeida, C.M., Galvão, L.S., Parêntese, São José dos Campos, 598 p.

JOURNAL, A. G.; HUIJBREGTS, C. 1978: Mining geostatistics. London: Academic Press. 1978.

KHAN, Aly et al. Histopathology of Apple (*Malus pumila* Mill.) roots infected with root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*). *Sarhad J. Agric*, v. 26, n. 1, p. 61-64, 2010.

KHAN, Aly et al. Nematodes associated with apple (*Malus pumila* Mill.) in Balochistan, Pakistan. *Int. J. Biol. Res*, v. 1, n. 1, p. 9-11, 2013.

KNIPLING, E. B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote sensing of environment*, v. 1, n. 3, p. 155-159, 1970.

LONGO, Diego Rodrigo et al. Desenvolvimento de sistema de informação geográfica para mapeamento da qualidade de maçã. 2017. Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MACHADO, A.C.Z. 2015. Ataques de nematoides custam R\$ 35 bilhões ao agronegócio brasileiro. Revista Agrícola. Disponível em: <http://www.ragricola.com.br/destaque/ataques-de-nematoides-custam-r-35-bilhoes-aoagronegocio-brasileiro>. Acesso em dezembro de 2022.

MASSRUHÁ, Silvia Maria F.S.; LEITE, Maria Angélica de A.; MOURA, Maria Fernanda. Os novos desafios e oportunidades das tecnologias da informação e da comunicação na agricultura (AgroTIC). Tecnologia da informação e comunicação e suas relações com a agricultura. EMBRAPA, Brasília, DF, 2014. p. 23-38.

MENDES, F. L. et al. Manejo cultural do nematoide das lesões radiculares durante a entressafra da soja no Mato Grosso. CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 6., 2012, Cuiabá. Soja: integração nacional e desenvolvimento sustentável: anais. Brasília, DF: Embrapa, 2012.

MENESES, P. R. & SANO, E. E. (2012). Classificação pixel a pixel de imagens. PR Meneses, T Almeida. Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília: UnB/CNPq, cap, 12, 2012.

MITKOWSKI, N. A.; ABAWI, G. S. Root-knot nematodes. The plant health instructor, v. 10, 2003.

MONTEIRO, Jessica da Mata dos Santos. Caracterização morfológica, enzimática e molecular de populações brasileiras de *Meloidogyne* spp.: identificação e sinonimização de espécies. 2016.

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.

PETRI, José Luiz; LEITE, Gabriel Berenhauer. Macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, vol. 30, no. 4, 2008.

<https://doi.org/10.1590/s0100-29452008000400001>.

PETRI, J.L.; LEITE, G.B.; COUTO, M.; POLIANA FRANCESCOTTO, E. AVANÇOS NA CULTURA DA MACIEIRA NO BRASIL. Revista Brasileira de Fruticultura, vol. 33, no. SPEC. ISSUE 1, p. 48–56, 2011.

PINHEIRO, J. B.; AMARO, G. B.; PEREIRA, R. B. Nematoides em pimentas do gênero Capsicum. 2011.

PINHEIRO, Jadir Borges; BISCAIA, Danielle. Impactos dos nematoides na hortifruticultura. In: Embrapa Hortaliças-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 36, 2019, Caldas Novas. Nematoides: da Ciência ao Campo.[Anais, palestras e resumos]. Campinas: Infobibos, 2019., 2019.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

RAO, Mahendrakar Sreenivasa et al. Role of biopesticides in the management of nematodes and associated diseases in horticultural crops. In: Plant, soil and microbes. Springer, Cham, p. 117-148, 2016.

RAVICHANDRA, N. G. Horticultural nematology. New Dehli: Springer India, 2014.

SILVA, Fábio. M. et al. Variabilidade espacial de atributos químicos e produtividade da cultura do café em duas safras agrícolas. Revista Ciência e Agrotecnologia. Lavras, v. 32, n. 1, p. 231-241, Fev. 2008.

SILVA, Matheus et al. Comportamento de genótipos RB de cana-de-açúcar ao parasitismo dos nematoides das galhas. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 11, n. 2, p. 73-79, 2016.

DA SILVA, Carina Melo et al. Distribuição espacial do anel vermelho (*Bursaphelenchus cocophilus*) e da resinose (*Thielaviopsis paradoxa*) em coqueiro. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 11, n. 3, p. 192-197, 2016.

SLATER, Philip N. Remote sensing: optics and optical systems. 1980.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA – SBN. Recomendações técnicas para amostragem, processamento de amostras e emissão de laudos, SBN: Piracicaba, 2019. p. 3-5.

SOUTHEY, J. F. Principles of sampling for nematodes. In: SOUTHEY, J. F. Laboratory methods for work with plant and soil nematodes. London: Her Majesty's Stationery Office, 1986. p. 1-4.

THENKABAIL, Prasad Srinivasa et al. Land resources monitoring, modeling, and mapping with remote sensing. CRC Press Inc., 2015.

TRABAQUINI, Kleber; LUNARDI, Nicole F; VIEIRA, Valci F; DORTZBACH, Denilson; VIEIRA, Everton; RICCE, Silva; LOSS, Arcângelo; BLAINSKI, Éverton; ZAMBONIM, Fábio Martinho; SILVEIRA, Christine. Identificação e espacialização dos pomares de maçã utilizando dados de sensoriamento remoto no estado de Santa Catarina-Brasil in the state of Santa Catarina-Brazil. vol. 44, p. 114–126, 2021.

VIEIRA, S. R. Uso de geoestatística em estudos de variabilidade espacial de propriedades do solo. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Org.). Tópicos em ciência do solo v.1. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 1-54, 2000.

WHITCRAFT, A.; Jarvis, I.; Rembold, F. & Baruth, B. (2018) - Summary of the GEOGLAM Workshop on Data and Systems Requirements for Operational Agricultural Monitoring. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

ZHANG, M. et al. Detection of stress in tomatoes induced by late blight disease in California, USA, using hyperspectral remote sensing. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 4, n. 4, p. 295-310, 2003.

ZIMBACK, C. R. L. Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade do solo. 2001. 114f. Tese (Livre-Docência em

Levantamento do solo e Fotopedologia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

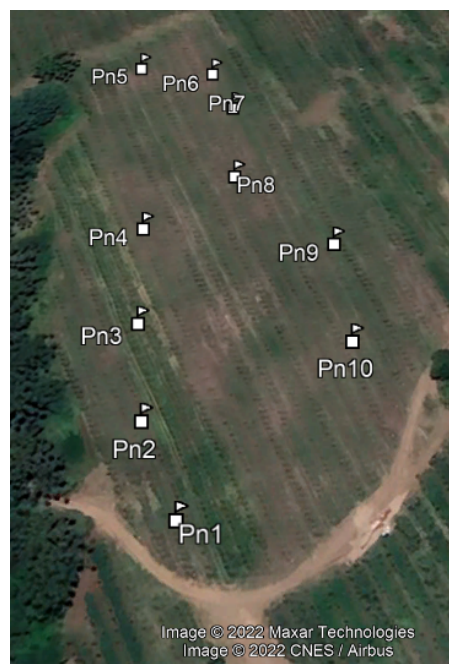
APÊNDICE A – Imagens do Pomar e Pontos Coletados

Figura 8 - Pomar localizado na cidade de Painei - SC sob as coordenadas: (S) -27.922823868433877, (W) -50.078507004799924.



Fonte: <https://www.google.com/maps/place/Painei+-+SC,+88543-000/@-27.9248857,-50.0794726,684m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x951ff7b61f04457b:0x22f0a675b0a741b6!8m2!3d-27.9234086!4d-50.1012354>.

Figura 9 - Pontos amostrais na área.



Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.

Figura 10 - Ponto de coleta Pn1.



Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.

Figura 11 - Ponto de coleta Pn2.



Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.

Figura 12 - Ponto de coleta Pn3.



Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.

Figura 13 - Ponto de coleta Pn4.



Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.

Figura 14 - Ponto de coleta Pn7.



Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.

Figura 15 - Ponto de coleta Pn8.



Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.

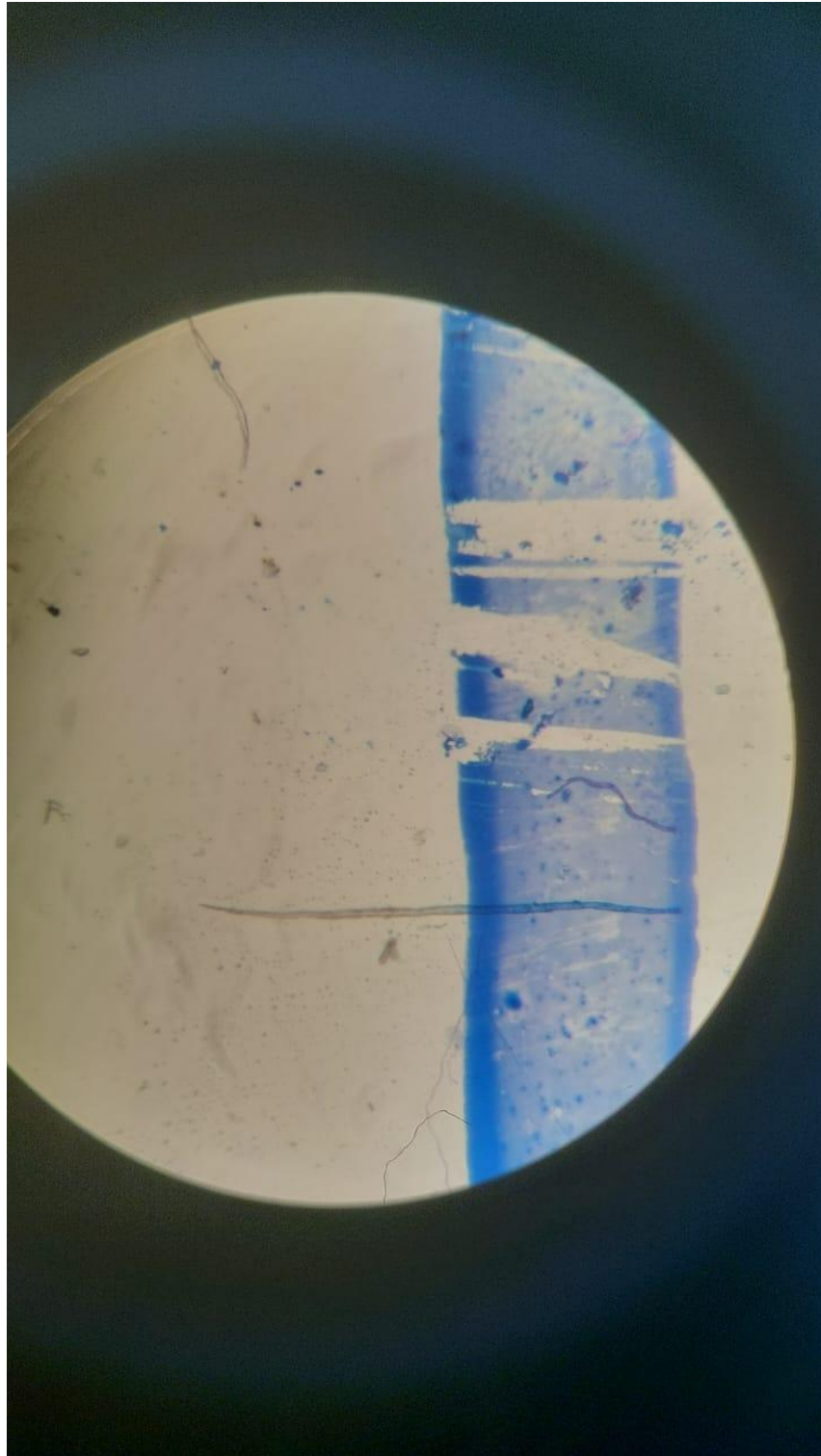
Figura 16 - Ponto de coleta Pn9.



Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.

APÊNDICE B - Nematóides identificados no microscópio.

Figura 17 - Nematóides identificados na amostra do ponto 4 (Pn4).



Fonte: Dados gerados pela autora, 2022.