

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROECOLOGIA
MESTRADO PROFISSIONAL**

HERNANDEZ DE SOUZA CONSTANTINO

**CONTROLE BIOLÓGICO DE NEMATOIDES NA CANA-DE-AÇÚCAR: REVISÃO
SISTEMÁTICA**

Maringá, PR
2022

HERNANDEZ DE SOUZA CONSTANTINO

**CONTROLE BIOLÓGICO DE NEMATOIDES NA CANA-DE-AÇÚCAR: REVISÃO
SISTEMÁTICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroecologia, Mestrado Profissional do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agroecologia.

Orientadora: Dra. Kátia Regina Freitas Schwan Estrada

Área de Concentração: Agroecologia

Maringá, PR
2022

Dedico este trabalho a todas as pessoas que me incentivaram no decorrer da trajetória do Mestrado em Agroecologia e a minha família por acreditar que seria possível.

AGRADECIMENTOS

À minha família: minha mãe Marinalva Ramos de Souza Constantino, ao meu pai Edison Constantino, e as minhas irmãs Arielly de Souza Constantino e Rosiane de Souza Constantino pela força, incentivo e pelo exemplo que vocês são na minha vida. Eu sou o que sou, porque nos somos.

À Superintendência Geral de Ciência, Tecnologia e Ensino Superior (SETI).

À Universidade Estadual de Maringá, pela oportunidade de tornar-se mestre em Agroecologia em uma instituição pública e gratuita de ensino superior de qualidade.

Agradecimento em especial à minha orientadora professora Dra. Kátia Regina Freitas Schwan Estrada pela paciência e compreensão durante todo esse período.

Enfim a todos que contribuíram direta e indiretamente para o desenvolvimento deste trabalho.

Eu tive que ser bom de bola pra sobreviver
Nenhuma lição, não havia lugar na escola
Pensaram que poderiam me fazer perder

Mas minha alma resiste, meu corpo é de luta
Eu sei o que é bom, e o que é bom também deve
ser meu

A coisa mais certa tem que ser a coisa mais justa
Eu sou o que sou, pois agora eu sei quem sou eu.

(JORGE PORTUGAL, LAZZO MATUMBI. 14 DE MAIO, 2019).

CONTROLE BIOLÓGICO DE NEMATÓIDES NA CANA-DE-AÇÚCAR: REVISÃO SISTEMÁTICA

RESUMO

A cana de açúcar (*Saccharum* spp.) se destaca como uma das culturas mais importantes para o agronegócio brasileiro e integra o conjunto de atividades econômicas de destaque no mercado mundial. O presente estudo tem como objetivo avaliar o potencial das contribuições do uso de nematicidas biológicos na produção da cana-de-açúcar. A avaliação foi feita usando uma abordagem de revisão sistemática da literatura no qual foi realizado uma busca que englobou artigos publicados em periódicos científicos usando os bancos de dados Web of Science® (WoS) e o banco de dados da EBSCOhost, utilizando os seguintes termos de pesquisa: (Biological control) AND (sugarcane) AND (nematode) AND (root), durante o período de 1º de janeiro de 2000 a 30 de outubro de 2022. A partir da aplicação da metodologia PICO, foram filtrados 11 artigos de 37 encontrados na WoS e na EBSCOhost foi encontrado 38 e filtrados 3. De maneira geral, os resultados mostram a importância dos nematicidas biológicos e expressaram potencial de uso alternativo aos nematicidas químicos. Diferentes agentes de controle de fitonematóides tem seu controle reconhecidamente comprovados, sendo *Bacillus subtilis*, *Trichoderma* spp. e *Pasteuria penetrans* se destacou como alternativa para o controle dos fitonematóides. Assim, é possível afirmar que existem alternativas sustentáveis que contribuem para a redução do uso de nematicidas químicos.

Palavras-chave: Controle biológico. *Bacillus subtilis*. Cana-de-açúcar

BIOLOGICAL CONTROL OF NEMATODES IN SUGARCANE: SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum* spp.) stands out as one of the most important crops for Brazilian agribusiness and is part of the set of outstanding activities in the world market. The present study aims to evaluate the potential contributions of the use of biological nematicides in the production of sugarcane. A was done using a systematic literature review approach in which a search was performed that included articles published in scientific journals using the Web of Science® (WoS) databases and the EBSCOhost database, using the following data terms: (*Biological control*) AND (*sugarcane*) AND (*nematode*) AND (*root*), during the period from January 1, 2000, to October 30, 2022. From the application of the PICO methodology, 11 articles were filtered out of 37 found in Wos and at EBSCOhost it was 38 and filtered 3. Overall, the results show the importance of biological nematicides and found a potential for alternative use of chemical nematicides. Different nematode control agents have their control recognizablytilis, being *Bacillus subtilis*, *Trichoderma* spp. e *Pasteuria penetrans* stands out as an alternative for nematode control. Thus, it is possible to affirm that there are alternative uses that are used to reduce the use of chemical substances.

Keywords: Biological control. *Bacillus subtilis*. Sugarcane

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Artigos com a espécie de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) após a seleção com foco no controle biológico de fitonematóides na cultura (2000 a 2022).

-----28

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Etapas da revisão sistemática.....	24
Figura 2- Número de publicações por ano (n = 75) a partir da busca por ("biological control") AND (nematode) AND (sugarcane) AND (root) na base de dado WoS e EBSCOHost	26
Figura 3- Fluxograma de elegibilidade dos estudos, segundo critérios de Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses.	27
Figura 4- Ilustração usando VOSviewer com os dados obtidos na WOs. Quanto maior o tamanho das bolhas, maior é a associação.	34
Figura 5- Ilustração usando VOSviewer com os dados obtidos na EBSCOhost. Quanto maior o tamanho das bolhas, maior é a associação.....	34
Figura 6- Anáside comparativa da redução da população de nematóides (%) com base em dados de estudos (n=14).	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Cana-de-Açúcar.....	3
2.2. Origem e evolução da cultura da cana-de-açúcar.....	4
2.3. Taxonomia e descrição morfológica da cana-de-açúcar.	6
2.4. Importância, produção e distribuição nacional e mundial	8
2.5. Nematóides na cultura da cana-de-açúcar.....	10
2.5.1. Gênero <i>Meloidogyne</i>	12
2.5.2. Gênero <i>Pratylenchus</i>	13
2.6. Manejo de nematóides na cana-de-açúcar	15
2.7. Controle biológico de nematoides na cana-de-açúcar	17
2.8. Efeito dos nematicidas microbiológicos no controle e no desempenho da produção de cana de açúcar.....	19
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1. Revisão Sistemática.....	24
3.2. Análise dos estudos.....	25
3.2.1. Avaliação de dados e critérios de seleção	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Resultados da Pesquisa	26
5. CONCLUSÃO.....	37
6. REFERÊNCIAS	38

1. INTRODUÇÃO

O cultivo comercial de cana-de-açúcar no Brasil está largamente relacionado ao desenvolvimento econômico e se intensificou com a criação do Programa Nacional do Álcool, o PROÁLCOOL, em 1975, como incentivo a produção de biocombustíveis. Atualmente, o Brasil é o líder da produção mundial e, na safra 2020/21, foi responsável por 654,5 milhões de toneladas produzidas em aproximadamente 8,6 milhões de hectares.

O monocultivo da cana-de-açúcar por vários anos, em uma mesma área, tem a tendência a levar a perdas no rendimento devido à ocorrência e proliferação de nematóides. Existem diversos gêneros de fitonematoides que causam danos à cultura e que condicionam a perda da produtividade dos canaviais (Moura & Almeida, 1981). Há grande diversidade de espécies de fitonematoides com potencial de causar significativa redução de produtividade e longevidade dos canaviais. Estima-se que existe aproximadamente 310 espécies, pertencentes a pelo menos 48 gêneros, já encontradas na rizosfera desta cultura (Cadet & Spaull, 2005).

Nas condições brasileiras, as principais espécies de que causam danos à cana-de-açúcar são: *Meloidogyne javanica*, *M. incognita*, *Pratylenchus zaei* (Dinardo-Miranda, 2005) e *P. brachyurus* (Dinardo-Miranda, 2005²). Podem ser encontrados mais de uma espécie em uma mesma área e dependendo das condições favoráveis presentes, uma das espécies poderá prevalecer sobre as outras (CHAVES et al., 2004).

Esses fitopatógenos ao parasitar o sistema radicular das plantas, causam danos e, conseqüentemente, resulta em menor capacidade de absorção de água e nutrientes, reduzindo a produtividade da cultura (MOURA et al., 1990; DINARDO-MIRANDA, 2005; CHAVES et. al 2016).

Dada a ausência de variedades comerciais resistentes a uma ou mais espécies de nematóides, o manejo é baseado principalmente no uso de nematicidas químicos aplicados tanto no plantio quanto nas soqueiras (DINARDO-MIRANDA, 2005), sendo esta a principal estratégia de controle utilizada em canaviais no país (AGROFIT, 2021).

No entanto, o efeito desses produtos pode ser descontinuado e/ou limitado (MOURA; MACEDO, 1997), além de representarem altos riscos à saúde humana e ambiental (PEASE et. al 1995).

Tendo em vista o potencial do Brasil para produzir cana-de-açúcar e os efeitos danosos que nematoides acometem na cultura, aliado a manejo baseado em nematicidas químicos, é necessário reunir informações que permitam conhecer alternativas biológicas que têm potencial para: 1. Ser utilizado num programa de manejo de nematoides e que tenham como premissa a responsabilidade socioambiental ; 2. Contribuir para a redução do uso de nematicidas químicos e suas implicações econômicas e ambientais, a partir do uso de produtos biológicos para o manejo sustentável de nematóides na cultura.

Por este motivo, neste estudo foi realizada a busca por informações atualizadas sobre o controle biológico de nematóides utilizando uma abordagem sistemática para assim mensurar o potencial das contribuições do uso nematicidas biológicos na produção de *Saccharum* spp.

REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Cana-de-Açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das *commodities* mais importantes para o agronegócio brasileiro e integra o conjunto de atividades econômicas de destaque no mercado mundial. Atualmente, o Brasil é o líder da produção global e, na safra 2020/21, foi responsável por 654,5 milhões de toneladas produzidas em aproximadamente 8,6 milhões de hectares. O cultivo e o processamento da cana-de-açúcar têm como principal finalidade a produção de açúcar e etanol, abastecendo o mercado interno e contribuindo fortemente para a geração de divisas via exportação (CONAB, 2021).

A produção mundial de açúcar, na safra 2020/21, foi de 179,9 milhões de toneladas, neste cenário, o Brasil, que detém 36% do comércio global do produto, se destaca como maior produtor e exportador, com saldo de 41,2 milhões de toneladas produzidas. Já para o etanol, o país é o segundo maior produtor mundial, com 29,7 bilhões de litros do biocombustível nesta safra (CONAB, 2020; RFA, 2021; USDA, 2021).

Além da contribuição do setor sucroalcooleiro para a geração de divisas, destaca-se o considerável aporte na geração de emprego e renda, cooperando com o cenário social e industrial brasileiro. Quanto à exportação, na safra 2020/21, o açúcar e o etanol geraram receitas na ordem de US\$ 7,8 bilhões e US\$ 1,2 bilhão, respectivamente, para a balança comercial do país (UNICA, 2021).

Ademais, o Brasil é, atualmente, o único país do mundo em que o uso de biocombustíveis supera 10% da demanda de energia para transportes (OCDE/FAO, 2020), sendo sugerido que a expansão do etanol de cana-de-açúcar brasileiro fornece solução escalável e de curto prazo para reduzir as emissões de CO₂ do setor de transporte global (JAISWAL et al., 2017). Já no que se refere à criação de empregos, estima-se que, aproximadamente 3,2% do total de pessoas ocupadas no agronegócio estejam em atividades da cadeia sucroalcooleira, o que representa mais de um milhão de trabalhadores (CEPEA, 2018; PELOSI; SHIKIDA, 2020).

Dentro dessa cadeia produtiva, o processamento da cana-de-açúcar em açúcar e etanol resulta na geração de subprodutos de sustentabilidade ecológica, dentre eles destacam-se o bagaço, a vinhaça, torta de filtro, melaço e levedura, que são empregados como matéria prima em diversos segmentos, como a fabricação de papel

e celulose, produção de ração e alimentação animal, aproveitamento na agricultura como fertilizantes além da fabricação de produtos químicos, farmacêuticos e cosméticos (SANTOS et al., 2020).

Neste contexto, a pesquisa e o desenvolvimento de energias limpas e renováveis têm alcançado resultados promissores, como o etanol de segunda geração, derivado de subprodutos como a palha e o bagaço, que possibilita incremento na produção do biocombustível, sem aumento da área cultivada. A partir da vinhaça, é produzido o biogás, usado para a produção de bioeletricidade, considerada a 4ª fonte mais importante da matriz elétrica brasileira e ainda, o biometano, produzido a partir do biogás, e possui a mesma aplicação comercial do gás natural (UNICA, 2021).

Dada a importância da cana-de-açúcar, ao longo do tempo, inúmeros fatores de produção e técnicas de manejo influenciaram a viabilidade do cultivo e o aumento de produtividade. Não obstante ao potencial produtivo, combinações de estresses bióticos e abióticos têm se tornado problema frequente, podendo gerar significativas perdas (CURSI et al., 2022). Neste sentido, em virtude do frequente cultivo como monocultura, é comum a ocorrência de problemas relacionados à pressão de patógenos, dentre estes, os fitonematoides. Em áreas com níveis populacionais elevados e variedades muito suscetíveis, estima-se que as perdas provocadas pelos nematoides podem reduzir em até 50% a produtividade dos canaviais (DINARDO-MIRANDA, 2005; OLIVEIRA; KUBO, 2007).

1.2. Origem e evolução da cultura da cana-de-açúcar

A origem da cana-de-açúcar ainda é controversa. Foi sugerido ser uma planta nativa do sudoeste da Ásia, no entanto, acredita-se ser originária das ilhas do Arquipélago da Polinésia, Nova Guiné e Índia. Seguindo a migração humana, a planta foi se difundindo para o sudeste da Ásia, Índia e Pacífico, onde foi hibridizando com espécies silvestres. Acredita-se que a cana-de-açúcar foi levada pelo homem para o sudeste da Ásia, constituindo o Centro de Diversidade na Papua Nova Guiné e Indonésia (DANIELS; ROACH, 1987; FIGUEIREDO, 2010).

No Brasil, a cana-de-açúcar foi introduzida logo após a chegada dos portugueses, no início do século XVI, trazida da ilha da Madeira por Martin Afonso de Souza. A cultura, desenvolvendo-se em condições de clima favorável e solos férteis,

se expandiu para novas áreas de cultivo e ganhou importância econômica mais expressiva a partir da segunda metade do século XVI, quando mais engenhos foram construídos e começaram a operar no nordeste brasileiro. Deste modo, com a rápida expansão, a cana-de-açúcar se tornou a principal riqueza de exportação do então Império Português, constituindo um monopólio que só concorreria com os holandeses no século XVII, após sua introdução no Caribe (SEGATO et al., 2006; FIGUEIREDO, 2010; DE MATOS et al., 2020). Em 1650 o Brasil já liderava a produção mundial de cana-de-açúcar, entretanto, essa posição foi brevemente assumida pela Índia, e no século XX, o país retomou a posição de maior produtor mundial, mantendo a superioridade até os dias atuais (MOZAMBANI et al., 2006; CONAB, 2021).

Na década de 1930, por iniciativa do governo federal, foi criado o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA), responsável pelo estabelecimento de cotas de produção para usinas e fornecedores, pela administração do preço da cana-de-açúcar, açúcar e etanol além da criação de regras de exportação e outras medidas intervencionistas (BARBOSA et al., 2012).

Com a primeira crise do petróleo, o Brasil iniciou, em meados de 1970, o Programa Nacional do Alcool - Proálcool, que objetivou inserir o etanol na matriz energética do país (MATOS; MARAFON, 2020). Neste sentido, em 2002, foi introduzido no país, o primeiro veículo com motor flex-fuel (gasolina e álcool) desenvolvido por empresas alemãs e produzido em larga escala a partir de 2003 (SANTOS; CASTILHO, 2020). A partir de 2005, houve crescimento acentuado na produção de cana-de-açúcar no país devido, principalmente, ao aumento da demanda de etanol com a adoção de veículos com essa tecnologia (ANTUNES et al., 2019).

A partir de 2008, problemas relacionados à crise financeira mundial, baixos preços do açúcar e do etanol além de sucessivas secas limitaram os investimentos e afetaram a renovação dos canaviais prejudicando não só a produção de cana-de-açúcar brasileira como a agricultura em geral (ANTUNES et al., 2019).

Apesar dos altos e baixos na cultura, a expressiva demanda pelo etanol impulsionou significativamente a expansão da área plantada no país, fomentando a criação de usinas canavieiras. Atualmente, são aproximadamente 70 mil produtores e 418 usinas distribuídas no Brasil, a região Sudeste possui cerca de 235, 81 estão localizadas no Centro-Oeste, 73 na região Nordeste, a região Sul conta com 34 usinas e a região Norte dispõe de 5 usinas instaladas (UNICA, 2021).

A colheita da cana-de-açúcar é predominantemente mecanizada. O percentual

registrado em 2007/08 era de 24,4%, já em 2019/20 esse número saltou para 88,4%. Na região Centro-Sul, há o maior percentual, 92,9% das áreas possuem colheita mecanizada. Nas regiões Norte e Nordeste, o percentual de mecanização é de 23%, o que pode ser explicado, em partes, pelo relevo acidentado em algumas áreas e disponibilidade de mão de obra para a colheita manual (CONAB, 2020).

1.3. Taxonomia e descrição morfológica da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é pertencente à família *Poaceae*, subfamília *Panicoideae*, tribo *Andropogoneae* e gênero *Saccharum* L., o qual contém seis espécies, sendo duas silvestres, *S. spontaneum* L. e *S. robustum* Brandes e Jeswit ex Grassl., e quatro espécies domesticadas, são elas, *S. officinarum* L., *S. barberi* Jeswit, *S. sinensis* Roxb. e *S. edule* Hassk (DANIELS; ROACH, 1987).

Os híbridos de cana-de-açúcar cultivados atualmente são derivados de diferentes cruzamentos interespecíficos do complexo *Saccharum*, visto que, as espécies *S. officinarum* e *S. spontaneum* são as que mais contribuem para o genoma das variedades modernas, além disso, ocorreu importante contribuição genética de outros gêneros relacionados como *Miscanthus*, *Erianthus* (ROACH; DANIELS, 1987; PATERSON, 2012).

A espécie *S. officinarum*, ou “cana nobre”, possui capacidade de acumular altos teores de sacarose no colmo, no entanto, oferece baixa resistência a doenças, dessa forma, o cultivo contínuo e a suscetibilidade a doenças levaram os países produtores a iniciar programas de melhoramento com a finalidade de cruzar a espécie *S. officinarum* com outras espécies também ricas em sacarose, mas com certos graus de resistência. Os cruzamentos interespecíficos são datados da primeira metade do século XX entre *S. officinarum* e *S. spontaneum*, sendo que, a maioria das variedades apresentam 80% do genoma derivado de *S. officinarum*, 10% de *S. spontaneum* e 10% de recombinantes das duas espécies (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011; BARBOSA et al., 2020).

O nome *Saccharum* atribuído à cana-de-açúcar deriva sua origem da palavra Transkrit, da Índia, que posteriormente foi chamada de Sakkar ou Sukkar pelos árabes após a introdução no Oriente Médio através da Pérsia. Alguns séculos mais tarde, após a inserção da cana-de-açúcar na Europa, os romanos chamariam a planta de *Saccharum*, o qual seria adotado e, mais adiante, atribuído por Linnaeus em 1753 por sua classificação botânica que perdura até os dias atuais (DE MATOS et al., 2020).

A cana-de-açúcar é cultivada em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo, presente em aproximadamente 130 países. É uma planta C4, com alto metabolismo fotossintético, altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química. A cultura se desenvolve na forma de touceira, com a formação de perfilhos e possui desenvolvimento em dois ciclos, o primeiro chamado de cana-planta, abrange um período de 12 a 18 meses em que a cultura ainda não teve o primeiro corte. O ciclo seguinte se dá após o primeiro corte, o qual inicia o ciclo da cana soca, compreendendo um período de cultivo de 12 meses (SILVA; SILVA, 2012; BARBOSA et al., 2020).

É uma gramínea perene, de grande porte e possui reprodução sexuada, especialmente por alogamia. Já a propagação é assexuada com o plantio de mudas contendo gemas presentes nos nós, que brotam formando perfilhos e dão origem a caules grossos e pesados formando as touceiras. No estágio adulto, a planta possui de 2 a 6 m de altura e pode ser colhida em vários ciclos sem a necessidade de novos plantios. A planta é formada, principalmente, por caule (ou colmo), folhas e raízes. O colmo pode variar em forma e cor sendo formado por nós e entrenós, visto que, quando adulta/madura, a planta apresenta em média 70% de água e 30% de matéria seca no colmo, incluindo açúcares, sais e fibras, que podem variar de acordo com a espécie ou híbrido além das condições ambientais que a cultura se encontra (HENRY, 2010; BARBOSA et al., 2020).

As folhas da cana-de-açúcar são rigidamente fixadas no colmo por meio da bainha e são elas as responsáveis pela respiração, transpiração e elaboração dos açúcares da planta. No passado, as folhas eram separadas do colmo após o corte, sendo queimadas ou empregadas como forragem para o gado, no entanto, após a adoção de tecnologias no processamento industrial, a partir da década de 1970, as folhas passaram a ser queimadas antes da colheita e, nos dias atuais, com as colheitas mecanizadas, estas são cortadas e mantidas, na maior parte dos casos, no solo, como incremento de matéria orgânica (RODRIGUES; ROSS, 2020).

Os estádios de desenvolvimento são altamente influenciados por inúmeros fatores, incluindo estado nutricional, tratos culturais, variedades utilizadas e, especialmente, condições climáticas. O período de crescimento exige demanda hídrica de 800 a 2.000 mm/ano e, a faixa considerada ótima para o desenvolvimento é de aproximadamente 30 °C. Já a fase de maturação exige temperaturas mais baixas ou déficit hídrico para que a planta paralise seu crescimento e ocorra a acumulação

de açúcar (RODRIGUES; ROSS, 2020).

1.4. Importância, produção e distribuição nacional e mundial

A cana-de-açúcar é mundialmente conhecida e empregada em processos de alta tecnologia, como matéria-prima de alta qualidade e, principalmente, pela produção de açúcar e etanol. Além destes produtos, a cadeia produtiva desta *commodity* gera subprodutos utilizados como matéria prima em diversas esferas da indústria, além da cogeração de bioenergia (SANTOS et al., 2020, UNICA, 2021).

Anualmente, é produzido aproximadamente 1,8 bilhão de toneladas de cana-de-açúcar no mundo, sendo que, o Brasil destaca-se como o maior produtor, seguido pela Índia, China e Tailândia (USDA, 2021).

A safra brasileira registrou 654,5 milhões de toneladas colhidas em 2020/21, o que representa aumento de 1,8% em relação à safra de 2019/20. Esse montante é produzido em cerca de 8,6 milhões de hectares, o que significa aumento de 2,1% ou 174,1 mil hectares em relação à safra anterior. A região Centro-Sul é o maior eixo produtivo do país concentrando 7,7 milhões de hectares plantados e, nesta safra, contribuiu com cerca de 602,5 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, com destaque para São Paulo, principal estado produtor, com 354,2 milhões de toneladas produzidas em 4,4 milhões de hectares. Goiás, Minas Gerais e Mato Grosso do Sul vêm logo em seguida com produção de 74, 70,5 e 48,9 milhões de toneladas, respectivamente. Já a região Norte/Nordeste colhe a maior parte do volume produzido no período entre agosto e março, sendo que, nessa temporada foram 51,9 milhões de toneladas (CONAB, 2021).

Além das condições climáticas consideradas, de modo geral, favoráveis na maioria das regiões produtoras, investimentos em tecnologias e inúmeros fatores de produção e técnicas de manejo influenciaram o aumento de produtividade e qualidade da cana-de-açúcar ao longo dos anos, visto que, o rendimento médio alcançado foi de 75,9 k/ha⁻¹, na safra 2020/21 (UNICA, 2021).

No cenário mundial, o Brasil destaca-se ainda, como maior produtor e exportador de açúcar, seguido pelas produções da Índia, União Europeia e Tailândia. Na safra 2020/21, foram produzidas 179,9 milhões de toneladas mundialmente, enquanto que a produção brasileira representou 22% deste total, 41,2 milhões de toneladas. São Paulo também lidera este setor, responsável por 63,2% da produção

do açúcar nacional. Já para a indústria alcooleira, a produção dos Estados Unidos, à base de milho, é a única que supera a do Brasil que gerou 29,7 bilhões de litros de etanol a partir da cana-de-açúcar. Da mesma forma, destaque para o estado de São Paulo, responsável pela produção de 48,4% do etanol nacional (14,3 bilhões de litros) (USDA, 2021; MAPA, 2022a; 2022b).

Além da importância da cana-de-açúcar pela circulação no mercado interno, movimentando diversos setores da indústria, com alta capacidade de produção de biocombustível, cogeração de bioenergia além da criação de emprego e renda, o complexo sucroenergético, açúcar e etanol, ocupa papel de destaque na pauta de exportação, visto que, em 2021 contribuiu com a balança comercial do país em aproximadamente US\$ 10 bilhões, sendo o quarto setor mais representativo do país (CONAB, 2021; NACHILUK, 2021; UNICA, 2021).

O montante de 32,2 milhões de toneladas de açúcar exportados na safra 2020/21 representou aumento de 69,8% em relação ao ciclo anterior e contribuiu para que o país alcançasse o maior valor já registrado na série histórica da exportação do produto, cujo recorde anterior havia sido de 28,3 milhões de toneladas na temporada 2016/17. Esse crescimento expressivo pode ser explicado por vários fatores, entre os quais, destacam-se os preços atrativos do açúcar no mercado internacional, a taxa de câmbio elevada no Brasil e a forte redução do consumo de etanol no contexto da pandemia de Covid-19, além disso, a desvalorização do real frente ao dólar corresponde a outro importante fator que contribuiu para o elevado patamar de exportação do açúcar brasileiro neste ciclo (SANTOS; CASTILHO, 2020; USDA, 2021; MAPA, 2022a).

O açúcar exportado pelo Brasil, no ciclo 2020/21, teve como destino cerca de 140 países, com destaque para a Ásia e África. A China foi a principal compradora do açúcar brasileiro, com a aquisição de cerca de 4,3 milhões de toneladas e participação de 15,7% nas vendas do Brasil para o exterior. Na sequência, aparecem Argélia (2,4 milhões de toneladas, 8,6%), Nigéria (1,9 milhão de toneladas, 6,8%) e Bangladesh (1,8 milhão de toneladas, 6,5%) (NACHILUK, 2021; UNICA, 2021).

No que se refere ao mercado do etanol, o Brasil exportou cerca de 2,9 bilhões de litros no período 2020/21, o que corresponde a um aumento de cerca de 55,1% em relação ao ciclo passado. A importação do biocombustível apresentou recuo de 65,2% em relação ao período anterior, havendo ampliação do superávit da balança comercial do produto para 2,4 bilhões de litros nessa safra. O principal destino do biocombustível

embarcado para o exterior é a Coreia do Sul, com total de 1,1 bilhão de litros, o que representou cerca de 37,4% das exportações do setor no período. Em seguida, destacam-se os embarques para os Estados Unidos, que somaram cerca de 945,7 milhões de litros de etanol, correspondendo a uma participação de 32,1% do total exportado pelo Brasil (CONAB, 2021; MAPA, 2022b).

Dada a importância da cana-de-açúcar, ao longo do tempo, inúmeros fatores de produção e técnicas de manejo influenciaram a viabilidade do cultivo e o aumento de produtividade. Não obstante ao potencial produtivo, combinações de estresses bióticos e abióticos têm se tornado problema frequente, podendo gerar significativas perdas (CURSI et al., 2022). Neste cenário, dentre os principais problemas fitossanitários recorrentes na cultura, os fitonematoides têm ganhado destaque nas últimas décadas, gerando perdas estimadas em 50% da produtividade da cana-de-açúcar (BARBOSA et al., 2013).

1.5. Nematóides na cultura da cana-de-açúcar

Nematoides parasitas de plantas representam sério problema fitossanitário para a agricultura mundial. Nesse contexto, mais de 4.100 espécies já foram descritas em associação a diversas espécies de plantas e, coletivamente, representam danos estimados em mais de US\$ 80 bilhões por ano, mundialmente. No entanto, é provável que este valor esteja significativamente subestimado, visto que, muitos produtores e até profissionais, desconhecem ou negligenciam estes patógenos (DECRAEMER; HUNT, 2006; NICOL et al., 2011; JONES et al., 2013).

Em consequência do monocultivo da cana-de-açúcar é comum a ocorrência de problemas relacionados à pressão de patógenos, dentre estes, os fitonematoides. Em áreas com níveis populacionais elevados e variedades muito suscetíveis, estima-se que as perdas provocadas pelos nematoides podem reduzir em até 50% a produtividade dos canaviais (DINARDO-MIRANDA, 2005; OLIVEIRA; KUBO, 2007).

Em todo o mundo, cerca de 300 espécies de nematoides pertencentes a 48 gêneros, já foram relatadas em associação com a cultura (MATSUOKA; MACCHERONI, 2012). No Brasil, *Meloidogyne* e *Pratylenchus* são os gêneros de maior importância para a cana-de-açúcar, destacando-se três espécies com maior ocorrência, *Meloidogyne javanica* (Treub) Chitwood, *M. incognita* (Kofoid e White) Chitwood e *Pratylenchus zea* Graham. Apesar de cada uma dessas espécies

apresentar diferentes graus de infestação e severidade de danos à cultura, *M. incognita* é considerado o mais danoso para a cana-de-açúcar no país (DINARDO-MIRANDA, 2005; STEVEN et al., 2014).

Os nematoides parasitam o sistema radicular das plantas tornando-as debilitadas e enfraquecidas devido a menor capacidade de absorção de água e nutrientes, culminando em menor produtividade da cultura (DINARDO-MIRANDA, 2005; CHAVES et al., 2016). Os danos causados são de natureza mecânica ou física, devido à penetração e migração do nematoide no córtex do sistema radicular, tóxica, pela secreção de substâncias liberadas pelas glândulas esofagianas no citoplasma da célula vegetal, e espoliativa, em razão da alimentação do conteúdo citoplasmático das células atacadas (FERRAZ; BROWN, 2016). A severidade destes danos, estão associados, principalmente, às espécies presentes na área e os níveis populacionais, à variedade cultivada e às condições de umidade do solo no momento do plantio da cana além da presença de outros patógenos que podem interagir com os nematoides (DINARDO-MIRANDA, 2005; BARROS et al., 2005; CARNEIRO et al., 2016).

A ocorrência de populações mistas em uma mesma área é comum em canaviais, no entanto, uma das espécies pode se sobressair de acordo com as condições climáticas, ambientais e de cultivo (CHAVES et al., 2004). Nematoides do gênero *Pratylenchus*, chamados de nematoides das lesões radiculares, penetram pelas raízes das plantas e iniciam o parasitismo, os sintomas são evidenciados pela redução do sistema radicular, lesões de coloração avermelhada tendendo a mais escuras nas raízes, devido, principalmente à associação com outros patógenos, além de descolamento cortical (GOMES et al., 2016). Já para o gênero *Meloidogyne*, também conhecidos como nematoides das galhas, os sintomas se caracterizam pela presença de galhas e engrossamentos nas raízes, redução do volume radicular e proliferação de radículas, ademais, em alguns casos, podem ocorrer lesões ao longo das raízes parasitadas (GOMES et al., 2016; FERRAZ; BROWN, 2016).

No campo, os sintomas expressos na parte aérea das plantas, também chamados de sintomas reflexos, se manifestam em reboleiras com plantas subdesenvolvidas e cloróticas, apresentando murcha excessiva em dias mais quentes ou secos, distorção de folhas e caules além de desenvolvimento anormal dos órgãos florais, levando a redução de rendimentos e baixa qualidade dos produtos colhidos (GOMES et al., 2016).

1.5.1 Gênero *Meloidogyne*

Os nematoides das galhas, pertencentes ao gênero *Meloidogyne*, são considerados o grupo de parasitas biotróficos obrigatórios economicamente mais importante para a agricultura em todo o mundo com ampla gama de hospedeiros, abrangendo quase todas as espécies de plantas superiores (CASTAGNONE-SERENO et al., 2013; JONES et al., 2013). Mais de 90 espécies foram descritas dentro do gênero e, no Brasil, *M. javanica* e *M. incognita* são as principais associadas à cana-de-açúcar com ampla distribuição nas áreas de cultivo, no entanto, *M. incognita* é considerada a espécie mais agressiva para a cultura (DINARDO-MIRANDA, 2005; STEVEN et al., 2014).

Nematoides do gênero *Meloidogyne* apresentam dimorfismo sexual entre machos e fêmeas, visto que, estas são sedentárias, obesas e possuem formato piriforme, mantendo mobilidade apenas na região anterior do corpo para alimentação. Os machos e juvenis de segundo estágio (J2) são vermiformes, no entanto, os machos, normalmente, não parasitam e abandonam as raízes (HUNT; HANDOO, 2012). A duração do ciclo é dependente de fatores ambientais, bem como de cada espécie, mas no geral, o ciclo dura entre 21 a 42 dias (FERRAZ; BROWN, 2016).

O ciclo de vida destes nematoides inicia-se a partir da postura de ovos pela fêmea adulta, em uma matriz gelatinosa protetora na forma de massa de ovos, as quais, sob condições adversas, podem atuar como mecanismo de sobrevivência. Em condições adequadas, no interior dos ovos, com o desenvolvimento embrionário forma-se o juvenil de primeiro estágio (J1) e após a primeira ecdise, forma-se o juvenil de segundo estágio (J2), que eclode do ovo. No solo, o J2, móvel, vermiforme e infectante, migra em direção a um gradiente de concentração de exsudatos radiculares. Após penetrar nas raízes, estes patógenos atingem a zona de diferenciação celular, estabelecendo seu sítio de alimentação no parênquima vascular, iniciando assim, o parasitismo (JONES et al., 2013).

O sítio de alimentação consiste em um conjunto de 5 a 7 células selecionadas e modificadas por secreções esofagianas do J2, também chamadas de células gigantes, resultantes de repetidas cariocineses sem citocinese. Esse conjunto de células é hipertrofiada, metabolicamente hiperativa e multinucleada, possuindo citoplasma denso. Essas células especializadas funcionam como um dreno contínuo, mobilizando fotoassimilados das folhas para as células gigantes nas raízes, servindo

de alimento exclusivo para as fêmeas (TAYLOR; SASSER, 1978; ABAD et al., 2003).

A partir da formação das células gigantes, o J2, já sedentário, passa pela segunda, terceira e a quarta ecdises, posteriormente, a fêmea jovem começa a se alimentar e permanece no mesmo local por toda a vida. A hipertrofia e hiperplasia celular resultantes do intenso parasitismo culmina, via de regra, em deformações e engrossamentos nas raízes chamados de galhas radiculares. Além da formação de galhas, ocorre a desorganização e ruptura de elementos do xilema e de células primárias do floema, devido ao parasitismo adjacente a estes tecidos, dificultando a absorção de água e nutrientes pela planta (DINARDO-MIRANDA, 2005; FERRAZ; MONTEIRO, 2011).

Na cana-de-açúcar, geralmente, as galhas são mais evidentes em raízes mais jovens, principalmente nas extremidades, já em plantas adultas são pequenas e não tão evidentes. Ademais, há redução do volume radicular e proliferação de radículas. Os sintomas em parte aérea se manifestam em reboleiras no campo, com plantas subdesenvolvidas e cloróticas além de prejuízos na produtividade da cultura (GOMES et al., 2016).

As espécies *M. incognita* e *M. javanica* são adaptadas as várias regiões edafoclimáticas do país, apresentando sobrevivência prolongada em temperaturas acima de 28 °C. A agressividade desses patógenos depende de diversos fatores, dentre eles, a suscetibilidade da cultivar, espécie de nematoide e concentração de inoculo presente na área bem como características do solo (RINALDI et al., 2014). Estudos comparativos na cana-de-açúcar mostraram que *M. incognita* se sobressai sobre *M. javanica*, sendo ainda, mais agressivo à cultura, visto que, maiores fatores de reprodução foram relatados para *M. incognita* e estavam, frequentemente, relacionados a maiores danos na cultura, o que representa redução de 40 a 50% da produção logo no primeiro corte, já para *M. javanica*, os prejuízos são estimados em 20 a 30% (DINARDO-MIRANDA, 2005; BARBOSA et al., 2009).

1.5.2 . Gênero *Pratylenchus*

O gênero *Pratylenchus*, que abrange os nematoides das lesões radiculares, possui mais de 60 espécies descritas e está entre os três gêneros de maior importância mundial. São patógenos com ampla gama de hospedeiros e distribuição generalizada em regiões tropicais, subtropicais bem como regiões de clima temperado

(CASTILLO; VOVLAS, 2007; RIBEIRO et al., 2013).

Na cana-de-açúcar, *P. zae* é a espécie de maior ocorrência tanto mundialmente quanto no Brasil, onde tem sido encontrado em altas concentrações populacionais nas principais regiões produtoras, no estado de São Paulo (NOVARETTI et al., 2014), na região Nordeste (MOURA et al., 2000), no Paraná (SEVERINO et al., 2010) e Rio Grande do Sul (BELLÉ et al., 2017), responsável por perdas na produção variando de 20 a 30% a partir do primeiro corte em variedades suscetíveis, tanto isoladamente quanto em populações mistas com *Meloidogyne* spp. Além disso, são perdidas de 10 a 20 toneladas ha⁻¹ por corte com redução da longevidade da cana soca (BARROS et al., 2005; DINARDO-MIRANDA, 2005; OLIVEIRA; KUBO, 2007).

O ciclo de vida de nematoides do gênero *Pratylenchus* é variável entre 3 a 8 semanas, dependendo das condições ambientais, podendo ser concluído em 28 dias se houver temperaturas entre 30 a 35 °C (PINHEIRO et al., 2015). Esse patógeno não apresenta dimorfismo sexual e sua reprodução ocorre tanto por anfimixia quanto por partenogênese. Estima-se que as fêmeas façam a postura de cerca de 70 a 120 ovos, podendo variar de acordo com a espécie (FERRAZ; BROWN, 2016; GONZAGA et al., 2016).

Geralmente, os ovos são colocados dentro das raízes, um por um, visto que a postura no solo não é comum. Ao eclodir, o J2 migra em busca das raízes, passando por três ecdises até alcançar estágio adulto (J2>J3; J3>J4; J4>adulto), fêmea ou macho. Todos os estádios são infectivos, dessa forma, após penetrar nas raízes das plantas, esses patógenos se movimentam pelo córtex em direção ao cilindro central. Essa migração ocorre tanto entre quanto dentre as células, por ação mecânica do estilete e ação enzimática devido às secreções esofagianas que degradam a parede celular das células vegetais. As lesões causadas nas raízes e, principalmente, nas radicelas, decorrentes da alimentação, movimentação ativa, liberação de enzimas e toxinas no córtex radicular, diminuem a absorção de água e nutrientes pela planta e ainda, permitem a entrada de patógenos oportunistas resultando na destruição dos tecidos e lesões necróticas (GOULART, 2008; JONES et al., 2013; FERRAZ; BROWN, 2016; GONZAGA et al., 2016).

A redução do sistema radicular decorrente deste parasitismo reflete, em condições de campo, na formação de reboleiras caracterizadas por plantas pouco desenvolvidas e pouco vigorosas, clorose, deficiência nutricional e seca nas

extremidades foliares. As raízes mais novas da cana-de-açúcar apresentam lesões escuras, contrastando com as raízes sadias, de coloração normal. No entanto, em raízes mais velhas, esse sintoma é de difícil visualização, visto que, as raízes sadias também possuem coloração mais escura, o que dificulta ou impede a distinção visual (OLIVEIRA; KUBO, 2007).

Nesse contexto, é importante enfatizar que, o primeiro passo para iniciar o planejamento de medidas de manejo para nematoides é a identificação das espécies presentes na área através de análise nematológica, uma vez que, não é possível fazer o diagnóstico correto de doenças causadas por nematoides somente com base em observações visuais de sintomas no campo. A análise em laboratório identifica as espécies presentes, bem como a concentração populacional (GOULART, 2010; FERRAZ; BROWN, 2016).

1.6. Manejo de nematóides na cana-de-açúcar

Dada a complexidade das interações envolvendo os nematoides e a cana-de-açúcar além da dimensão dos prejuízos, o manejo de áreas infestadas é feito, quando possível, pela integração de várias medidas de controle, visando reduzir as populações desses patógenos abaixo do nível de danos à cultura, visto que, a erradicação total do solo é praticamente impossível. Dentre as práticas adotadas para diminuir a densidade populacional dos nematoides em área de cultivo de cana-de-açúcar, destacam-se o uso de variedades resistentes, rotação de culturas, uso de nematicidas químicos e, o controle biológico que vem se destacando com resultados promissores, no entanto carece de maiores informações (DINARDO-MIRANDA, 2014).

O uso de variedades resistentes é um dos métodos mais práticos para o manejo de nematoides, entretanto, genótipos resistentes a pelo menos uma das espécies de importância econômica atualmente são escassas, ademais, no campo, é frequente a ocorrência de duas ou mais espécies de nematoides na mesma área, o que torna essa prática não muito efetiva. Já a rotação com plantas não hospedeiras, emprega, principalmente, as crotalárias, as quais se mostram eficientes na redução dos nematoides das galhas quando cultivadas por pelo menos dois anos na área (MOURA, 1991; ROSA et al., 2003) além de contribuir para aumentos de produtividade no canavial subsequente, devido aos seus benefícios como adubo

verde (DINARDO-MIRANDA; GIL, 2005). No entanto, quando o período de rotação de culturas se limita apenas ao tempo entre a destruição do canavial antigo e a implantação da nova lavoura, faz-se apenas um ciclo de cultivo de crotalárias, dessa forma, não há efeito significativo da rotação sobre as populações de nematoides.

Nesse contexto, o manejo de áreas infestadas baseia-se, principalmente, no uso de nematicidas químicos aplicados no plantio e/ou nas soqueiras, associados ou não à adição de matéria orgânica e à rotação de culturas (ROSSETO; SANTIAGO, 2009; DINARDO-MIRANDA, 2014).

Os nematicidas são utilizados no plantio e responsáveis por reduzir as populações de nematoides pelos primeiros dois a cinco meses de idade da cultura, com essa proteção inicial, favorecem um melhor desenvolvimento das raízes e, conseqüentemente da parte aérea das plantas, o que resulta em 15 a 50% de aumento na produtividade em relação às áreas sem nematicida. Nas soqueiras, os nematicidas contribuem para incrementos de produtividade de 10 a 25% e são aplicados em corte ao lado das linhas de cana ou sobre elas (DINARDO-MIRANDA, 2014).

O potencial de incrementos na produtividade está associado a fatores como a época de aplicação do nematicida na soqueira e ao desenvolvimento do sistema radicular da cana-de-açúcar. A aplicação de nematicidas em soqueiras colhidas na época seca do ano tem se mostrado mais eficiente quando feita de 30 a 90 dias depois da colheita, visto que, ocorre a morte das raízes neste intervalo e posterior crescimento no período chuvoso, independentemente do corte da parte aérea das plantas. Em contrapartida, com a colheita realizada em período chuvoso e aplicação feita logo em seguida ao corte, melhores resultados são observados na redução de nematoides além de maiores incrementos de produtividade (VASCONCELOS, 2006; DINARDO-MIRANDA, 2014).

Devido ao hábito polífago, ampla distribuição dos nematoides e a complexidade no manejo destes patógenos, é imprescindível a busca de novas e mais eficientes técnicas, dessa forma, o controle biológico tem se destacado como prática viável, eficiente tanto quanto o manejo químico, uma vez que, é de amplo espectro, podendo ser aplicado em qualquer cultura pois a especificidade é em relação ao alvo biológico e ainda, possui período de ação prolongado sendo mais sustentável (SOARES et al., 2017).

1.7. Controle biológico de nematoides na cana-de-açúcar

No ecossistema que compõe os solos, os nematoides parasitas de plantas não podem ser considerados isoladamente de outros organismos da comunidade biológica. O hábito de se alimentar de raízes, coloca os nematoides em contato com ampla variedade de microrganismos associados à rizosfera, os quais possuem vários níveis na cadeia trófica, assim, todas essas interações e fatores devem ser compreendidos no contexto do controle biológico (GRAHAM; STRAUSS, 2021).

Os organismos presentes no solo interagem entre si e, nesse processo, contribuem para o equilíbrio do ecossistema. Uma vez que os nematoides fitoparasitas se sobressaem à outras populações, o controle biológico deve ser pensado como manutenção, restauração ou aprimoramento dos mecanismos supressivos naturais que existem no solo. Neste contexto, o controle biológico consiste na redução das populações de nematoides ou de sua capacidade de parasitismo, pela ação de um ou mais organismos vivos de ocorrência no solo ou através da manipulação do ambiente, incluindo a introdução de antagonistas (STIRLING, 2011).

Dentre os diversos inimigos naturais de nematoides comumente encontrados nos solos, os que apresentam maior potencial como agentes de controle biológico são as bactérias e fungos, podendo atuar através de diferentes mecanismos de ação como antibiose, competição, parasitismo, predação e indução de mecanismos de defesas do hospedeiro (SOARES et al., 2017; GRAHAM; STRAUSS, 2021).

O primeiro fungo nematófago isolado e descrito foi *Arthrobotrys oligospora* Fresen 1852, (GRAY, 1988). No Brasil, Alcântara e Azevedo (1981) foram os primeiros a registrar informações sobre controle biológico de nematoides. Atualmente, dentre os fungos nematófagos, os ovicidas ou oportunistas estão entre os mais promissores, tanto pela capacidade saprófita, quanto pela fácil manipulação in vitro, o que facilita o cultivo em grandes quantidades para a formulação de produtos comerciais à base de estruturas fúngicas (MACHADO et al., 2016).

Na produção de produtos biológicos, o Brasil está entre os cinco países com melhor performance mundial. Essa produção cresceu mais de 70%, superando o crescimento do mercado global, que foi 17% (MAPA, 2020). O mercado brasileiro de biopesticidas foi estimado em cerca de US\$ 340 milhões em 2021, desse total, 35% é representado por nematicidas biológicos e a cana-de-açúcar, ao lado da soja e milho, detém 75% do mercado nacional. Ademais, o uso de bionematicidas aplicados

nas lavouras em todo o território nacional, representou 82% do mercado total de nematicidas em 2019/20 (DIAS, 2020). Atualmente, no Brasil, existem 47 nematicidas biológicos comerciais abrangendo 11 microrganismos como ingrediente ativo disponíveis no mercado, destes, os principais organismos utilizados são bactérias, especialmente *Bacillus spp.*, e fungos, como *Purpureocillium (=Paecilomyces) lilacinum*, *Pochonia chlamydosporia* e *Trichoderma spp.* (MACHADO, 2022).

O gênero *Bacillus spp.* está presente em cerca de 60% dos nematicidas biológicos comerciais no país. Caracterizadas como produtoras de endósporos, estrutura que lhes confere resistência, as bactérias do gênero *Bacillus spp.* colonizam a rizosfera e se desenvolvem associadas às raízes, estimuladas por exsudatos radiculares, formando uma barreira físico-química composta por células bacterianas e metabólitos produzidos por elas (HASHIM et al., 2019). Além dessa barreira, que evita a penetração do nematoide nas raízes, alguns isolados produzem substâncias tóxicas, atuando em diferentes estádios de desenvolvimento do patógeno (KAVITHA et al., 2012; HU et al., 2017). A colonização radicular pelas bactérias leva ainda, a uma alteração na composição dos exsudatos radiculares, interferindo no processo de reconhecimento nematoide-planta (HU et al., 2017). Em adição, *Bacillus spp.* são importantes promotores de crescimento vegetal e podem atuar como como indutores de resistência (CHOUDHARY; JOHRI, 2009; SANTOS et al., 2018).

Os fungos *Trichoderma spp.*, *Purpureocillium spp.* e *Pochonia spp.* integram 13 produtos disponíveis comercialmente, sendo que, *T. harzianum* tem como um dos alvos biológicos *P. zaeae*, possui alta capacidade de induzir resistência nas plantas, produz compostos tóxicos aos nematoides reduzindo a eclosão e causando mortalidade de juvenis em estudos *in vitro*, podendo ainda, impedir a penetração destes patógenos devido a colonização das raízes além da capacidade de parasitar ovos e juvenis (VARGAS et al., 2009; ZHANG et al., 2017). *Purpureocillium lilacinum* e *Pochonia chlamydosporia* se assemelham quanto ao modo de ação, visto que *P. lilacinum* é um fungo oportunista e quitinolítico que além de induzir resistência em plantas, parasita ovos, juvenis e adultos de diferentes espécies de nematoides, principalmente *Meloidogyne spp.*, visto que, diversos estudos mostraram que a eficiência de controle de *P. lilacinum* em nematoides sedentários pode chegar a 70% (DALLEMOLE-GIARETTA et al., 2012; ESCUDERO et al., 2016; PODESTÁ et al., 2016; GHAREMANI et al., 2019; MACHADO, 2022).

Em razão do mercado de nematicidas biológicos ser considerado emergente

em todo o mundo, alguns entraves envolvem a correta utilização e formulação de organismos com diferentes modos de ação, dificuldades no cultivo laboratorial entre outros fatores, que podem não garantir a qualidade, pureza e a eficiência no controle de nematoides em condições de campo, levando ao descontrole e ao descrédito desta ferramenta. No entanto, dada a riqueza da biodiversidade brasileira, aliada ao aumento da demanda por produtos biológicos, uma ampla gama de organismos pode ser explorada, bem como os metabólitos produzidos por eles, elevando as expectativas de mercados desses produtos (MACHADO, 2022).

Na cana-de-açúcar, o uso de nematicidas biológicos para o manejo de nematoides ainda é pequeno, o manejo destes patógenos é realizado, principalmente, com nematicidas químicos devido aos incrementos de produtividade, no entanto, o efeito desses produtos é limitado, o que tem fomentado a pesquisa de alternativas mais sustentáveis de manejo. Assim, a introdução de organismos biológicos, como bactérias e fungos, nos canaviais pode contribuir de forma positiva, resultando em ganhos de produtividade, sendo que sua contribuição é diferente entre genótipos e entre as estirpes inoculadas, havendo assim uma interação entre estes fatores (PEREIRA et al., 2013).

1.8. Efeito dos nematicidas microbiológicos no controle e no desempenho da produção de cana de açúcar

O uso de nematicidas biológicos tem se destacado nos últimos anos, com diversos estudos mostrando a eficiência dessa técnica tanto na redução da população de nematoides na cana-de-açúcar quanto no aumento da produtividade da cultura, no Brasil e no mundo (MIZUMOTO et al., 2007; MORGADO et al., 2015).

Mazzuchelli et al. (2020) ao avaliar a aplicação de *B. subtilis* no controle de nematoides em condições de campo de uma área de produção comercial de cana-de-açúcar naturalmente infestada com *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* spp. em três ciclos, observaram que a aplicação das bactérias no sulco de plantio mostrou-se mais eficaz na redução da população de ambos os nematoides do que a aplicação em pós-emergência, representando 53% de controle. Neste estudo, o controle químico com Carbofuran reduziu a população de nematoides apenas no primeiro ciclo (cana-planta), perdendo a eficiência nos ciclos subsequentes de avaliação, sendo que, para *Pratylenchus* spp., houve aumento da população no terceiro ciclo, a partir do tratamento químico.

De forma semelhante, outros estudos demonstram que a aplicação de nematicidas químicos no controle de *Meloidogyne* spp. e *Pratylenchus* spp. em cana-de-açúcar é mais eficaz para os nematoides das galhas, o que pode ser explicado pelo fato de nematoides do gênero *Meloidogyne* apresentar hábito sedentário, com formação de sítio de alimentação permanente nas raízes, já *Pratylenchus* possui hábito migrador (DIAS-ARIEIRA et al., 2010; CORTE et al., 2014), o qual também pode contribuir para o rápido aumento da população desse patógeno nas raízes de cana-de-açúcar ao longo do tempo de cultivo (MORGADO et al., 2015).

Uma das limitações do uso de nematicidas químicos no manejo de nematoides na cana-de-açúcar é a perda de eficiência poucos meses após a aplicação (DINARDO-MIRANDA et al., 2003; MAZZUCHELLI et al., 2020). Nas condições climáticas do período de plantio da cana de verão, o efeito desses produtos pode durar apenas 90 dias após o plantio, o que implica em novas aplicações na cana-soca, a fim de prolongar a vida útil da lavoura (BOND et al., 2000). Já o controle biológico mostra-se mais persistente no solo, contribuindo não só para o controle de nematoides bem como na supressão de outros fitopatógenos (MIZUMOTO et al., 2007; MORGADO et al., 2015; MAZZUCHELLI et al., 2020).

Bacillus spp. são amplamente estudados no controle de nematoides com resultados positivos na cana-de-açúcar (CARDOZO; ARAUJO, 2011; SILVA et al., 2016; SCHOEN-NETO et al., 2019; MAZZUCHELLI et al., 2020). Tais bactérias são capazes de produzir toxinas e possuem diferentes modos de ação sobre os nematoides. Essas toxinas podem influenciar diretamente na reprodução do patógeno, mais eficientemente na fase de oviposição, alterando a taxa de eclosão dos juvenis (CASTANEDA-ALVAREZ; ABALLAY, 2016; ZHANG et al., 2016; XIANG et al., 2017). Além disso, a colonização e desenvolvimento nas raízes formam uma barreira físico-química composta por células bacterianas e metabólitos produzidos, a qual interfere na penetração do nematoide (HASHIM et al., 2019). Estudos indicam ainda, que o uso dessas bactérias afeta a orientação do nematoide, reduzindo a atração destes patógenos para a raiz, devido à alteração dos exsudatos radiculares, os quais servem de sinalizadores químicos para os nematoides (ARAÚJO et al., 2002; HU et al., 2017).

Ademais, a inibição do parasitismo de nematoides por *Bacillus* spp. tem sido correlacionada com a indução de enzimas como ascorbato peroxidase, superóxido dismutase e fenilalanina amônia-liase, relatadas como indutoras de resistência

(CHOUDHARY; JOHRI, 2009; ABBASI et al., 2014).

Em amostras de solo de lavouras de cana-de-açúcar, análises moleculares revelaram a prevalência de isolados de *Bacillus* spp. e *Paenibacillus* spp. (RATÓN et al., 2012). No entanto, o cultivo contínuo desencadeia modificações na comunidade microbiana do solo, podendo favorecer, em algumas situações, o aumento de fitoparasitas, como os nematoides (SAVARIO; HOY, 2011). A introdução de *Bacillus* spp. tem se mostrado um método promissor, pois além de repor perdas da microbiota do solo pode contribuir para prolongar a persistência do controle de nematoides em comparação ao controle químico convencional. Informações sugerem que os esporos de *B. subtilis* possuem a capacidade de se manter estável por mais de dois meses no solo e, a adição de matéria orgânica pode ser uma alternativa para aumentar a atividade dessas bactérias (PHAE et al., 1992; TOKUDA et al., 1995). No entanto, mais estudos são necessários para definir a necessidade de reintrodução periódica desses microrganismos no campo durante o ciclo da cultura.

A eficiência de fungos do gênero *Trichoderma* no controle de nematoides em cana-de-açúcar também já foi relatada tanto para *Meloidogyne* spp. quanto para *Pratylenchus* spp. Além da diminuição significativa da reprodução desses patógenos, estudos mostram a eficiência na mortalidade de juvenis, bem como a capacidade de parasitismo dos ovos por *T. harzianum* e a redução da penetração nas raízes (FREITAS et al., 2012; ZHANG et al., 2017; SCHOEN-NETO et al., 2019).

Trichoderma spp. são caracterizados pelos diferentes mecanismos de ação no controle de nematoides que incluem alterações nos exsudatos radiculares e indução de mecanismos de defesa da planta pelo aumento da atividade enzimática envolvida na síntese de componentes de resistência (HWANG; BENSON, 2002; KATH et al., 2017). Essa resistência induzida por *Trichoderma* spp. pode gerar um efeito priming, permitindo que os mecanismos de resistência sejam ativados de forma mais rápida e eficaz quando a planta é acometida por diferentes patógenos (PASCHOLATI et al., 2019). O efeito priming induzido por *Trichoderma* spp. foi relatado como transgeracional, ou seja, quando as plantas parentais são pré-condicionadas, as da geração seguinte podem apresentar o mesmo nível de resistência aos nematoides sem custos de aptidão (MEDEIROS et al., 2017).

A eficiência de *P. lilacinum* na redução de nematoides em cana-de-açúcar também já foi reportada. Jayakumar, Seenivasan (2020) observaram redução de cerca de 70% de *P. zaeae* em campo naturalmente infestado a partir da aplicação de

P. lilacinum no sulco de plantio, logo no primeiro ano. Além disso, o tratamento com o fungo registrou os maiores valores de germinação (73,1%), número de perfilhos ha⁻¹ (164,5) e produtividade da cana, aumentando o rendimento para 124,8 toneladas ha⁻¹.

É relatado que *P. lilacinum* produz substâncias tóxicas para nematoides migradores, como *Pratylenchus* spp. Embora não completamente caracterizadas, essas substâncias imobilizam os juvenis e impedem sua penetração nas raízes (KHAN et al., 2006).

Purpureocillium lilacinum é considerado um fungo oportunista que parasita ovos, juvenis e adultos de diferentes espécies de nematoides (MACHADO, 2022). Apesar de resultados promissores no controle de *Pratylenchus* spp., os principais alvos biológicos dos nematicidas a base deste fungo são nematoides do gênero *Meloidogyne* (AGROFIT, 2021). Estudos mostram que a eficiência de controle conferida por *P. lilacinum* em nematoides sedentários pode chegar a 70% (DALLEMOLE-GIARETTA et al., 2012).

A eficiência do parasitismo deste fungo é atribuída, em grande parte, à sua capacidade quitinolítica. Inicialmente ocorre a infecção de ovos ou fêmeas sedentárias pelas hifas fúngicas que secretam enzimas extracelulares, como quitinases e proteases, degradando as cascas dos ovos e a cutícula do corpo da fêmea. Ademais, essas hifas absorvem o conteúdo celular de ovos e fêmeas sedentárias, necessário para seu próprio desenvolvimento e reprodução. As massas de ovos depositadas por *Meloidogyne* spp. bem como as fêmeas podem ser completamente parasitadas por *P. lilacinum*, o que leva desde a alterações no desenvolvimento embriogênico dos juvenis dentro dos ovos até a paralisação total da eclosão (MORTON et al., 2004; AHMED; MONJIL, 2019). Além disso, esse fungo também induz resistência em plantas, por meio de respostas desencadeadas pelo ácido salicílico ou ácido jasmônico (GHAHREMANI et al., 2019), semelhante ao *Trichoderma* spp.

Agentes de controle biológico também podem ser combinados com outros organismos benéficos para as plantas, como Fungos Micorrízicos Arbusculares (FMAs). Sankaranarayanan, Hari (2013) avaliando a aplicação de *P. lilacinum*, *P. chlamydosporia* e *A. oligospora*, isolados ou em combinação com FMAs na cana-de-açúcar, observaram redução do número de galhas de *M. javanica* a partir da aplicação dos fungos nematófagos, variando de 38 a 67%, sendo que, a redução foi mais acentuada quando os tratamentos foram combinados com FMAs. O mesmo foi

observado para a reprodução de *M. javanica* nas raízes da cana-de-açúcar. Além disso, os autores verificaram aumento significativo de raízes e parte aérea das plantas quando houve associação de fungos de controle biológico aos FMAs, sugerindo que a aplicação combinada destes organismos pode compensar os danos causados por *M. javanica* e melhorar o crescimento das plantas de cana-de-açúcar. Nesse contexto, melhorias no crescimento das plantas cultivadas e controle de nematoides foram relatados em diversos estudos pela integração de FMA com agentes de controle biológico, sugerindo que os diferentes modos de ação desses organismos provavelmente resultam em efeitos sinérgicos melhorando as condições gerais das plantas (GUETSKY et al., 2002; RAO et al., 2003; SIDDIQUI; AKHTAR, 2008).

Dessa forma, acredita-se que esses microrganismos coexistam de forma harmoniosa e sem competição por substratos ou colonização espacial na raiz hospedeira. Os FMAs podem reduzir a severidade das infecções causadas por nematoides devido às alterações dos constituintes bioquímicos da planta hospedeira, melhora da nutrição, especialmente pelo fósforo, modificação química dos exsudatos radiculares além de alterações dos componentes fisiológicos da raiz como aumento dos níveis de lignina podendo interferir na penetração de juvenis (SIKORA; SCHONBECK, 1975; HALLMANN; SIKORA, 1996).

Diante do exposto, é evidente que o controle de nematoides na cultura da cana-de-açúcar demanda novas alternativas e estratégias, pois apenas o uso de nematicidas químicos tem sido questionado quanto a perda de eficiência ao longo do tempo além de aumento de custos e certos riscos de contaminação ambiental. Alternativas como controle biológico tem se mostrado eficientes e demandam mais estudos a fim de esclarecer as inúmeras interações dos microrganismos com as plantas e os patógenos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

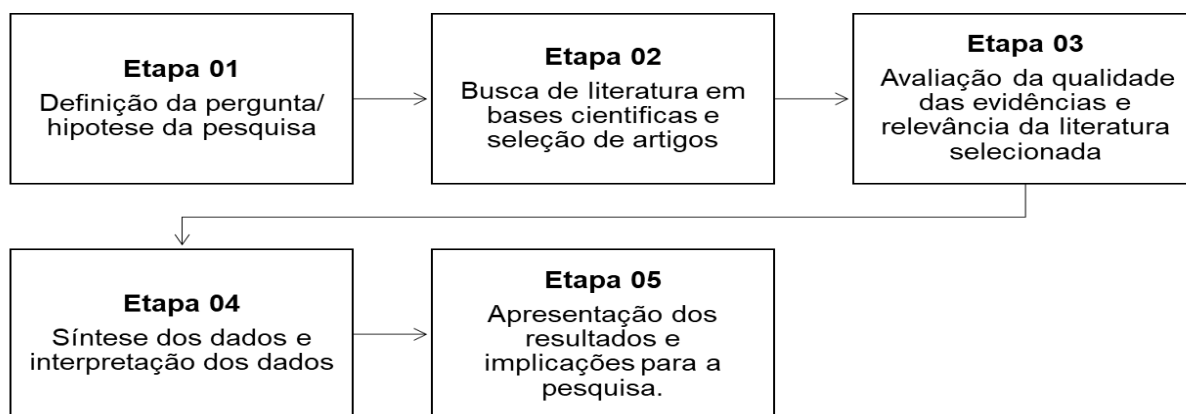
3.1 Revisão Sistemática

A pesquisa bibliográfica foi realizada utilizando a metodologia proposta por Toronto e Remington (2020), conhecida como PICO (Problem/hypothesis, Intervention, Comparison, and Outcome). As etapas da metodologia são: 1) definição da pergunta/hipótese da pesquisa para delimitar o estudo, 2) busca de literatura em bases científicas e seleção de artigos, 3) avaliação da qualidade das evidências e relevância da literatura selecionada, 4) Síntese e metanálise dos dados, e 5) Redação, interpretação e implicações dos dados para a pesquisa. As etapas da revisão sistemática estão simplificadas na figura 1.

Para a formulação do problema / hipótese, questionou-se se o controle biológico é eficiente para controlar os fitonematóides que acometem prejuízos na cultura da cana-de-açúcar.

Para realizar a seleção dos artigos, foi utilizado a metodologia enfatizada Liberati et al. (2009). Os dados foram coletados utilizando a base de dados Web of Science® (WoS) e da base Academic Search Premier (EBSCOhost), a partir de artigos publicados nos periódicos científicos em língua inglesa. A busca em ambas as bases foram realizadas utilizando os seguintes termos de pesquisa: (biological control) AND (sugarcane) AND (nematode) AND (root), durante o período de 1º de janeiro de 2000 a 30 de outubro de 2022 e as citações foram reunidas e gerados gráficos para resumir as informações levantadas.

Figura 1- Etapas da revisão sistemática.



Fonte: Adaptado Liberati et al. (2009).

3.2. Análise dos estudos

3.2.1. Avaliação de dados e critérios de seleção

A pesquisa na base de periódicos (WoS) resultou no total de 37 artigos e na Academic Search Premier (EBSCOhost) resultou em 38 artigos, totalizando 75 artigos. Para selecionar e avaliar os artigos utilizou a metodologia adaptada dos critérios Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses – PRISMA (Moher et. al 2010), realizando uma filtragem baseada em critérios obrigatórios, o artigo deveria apresentar uma ou mais das seguintes variáveis: densidade populacional de nematoides no solo e na raiz, número de massa de ovos, índice de galhas, penetração de nematoides na raiz, mortalidade de juvenis, taxa de reprodução, nematoides de vida livre.

Para realizar a interpretação dos dados levantados, foi utilizado software VOS Viewer versão 1.6.18 para obter rede, densidade e linhas a partir dos resultados obtidos pelos artigos publicados na base de dados WoS e EBSCOhost, resultante da pesquisa feita com as palavras chaves.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

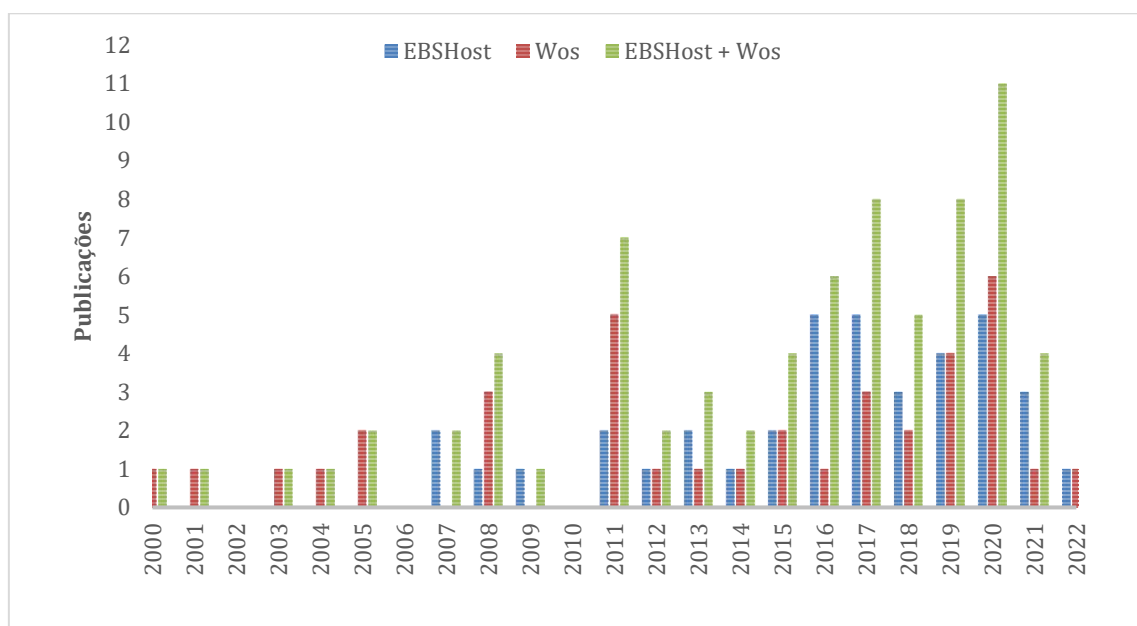
4.1. Resultados da Pesquisa

Inicialmente foram identificados trinta e sete artigos por meio das bases de dados Wos (n = 37) e trinta e oito na EBSCOhost (n = 38); totalizando 75 artigos. Os 37 (artigos) obtidos na Wos foram apresentados com seus respectivos números de publicações obtido pela base de dados WoS até 2022, com total de 482 citações e média de 13,03 por artigo de (Dados não mostrados). A busca na base EBSCOhost utilizando a mesma equação de busca resultaram em 38 publicações até 2022.

Na figura 2 podemos observar o número de publicações por ano (n = 75) a partir da busca por ("biological control") AND (nematode) AND (sugarcane) AND (root) na base de dado WoS e EBSCOHost, entre janeiro de 2000 a 30 de outubro de 2022.

Nota-se que o número de publicações e citações iniciou-se em 2000 e a partir de 2005 tornou-se consistente e com maior relevância, mantendo-se crescente ao decorrer dos anos, ocorrendo o pico do numero de publicações em 2020, com cinco (5) para a base EBSCOHost e 6 para a base Wos, totalizando onze (11) publicações no ano, figura 2.

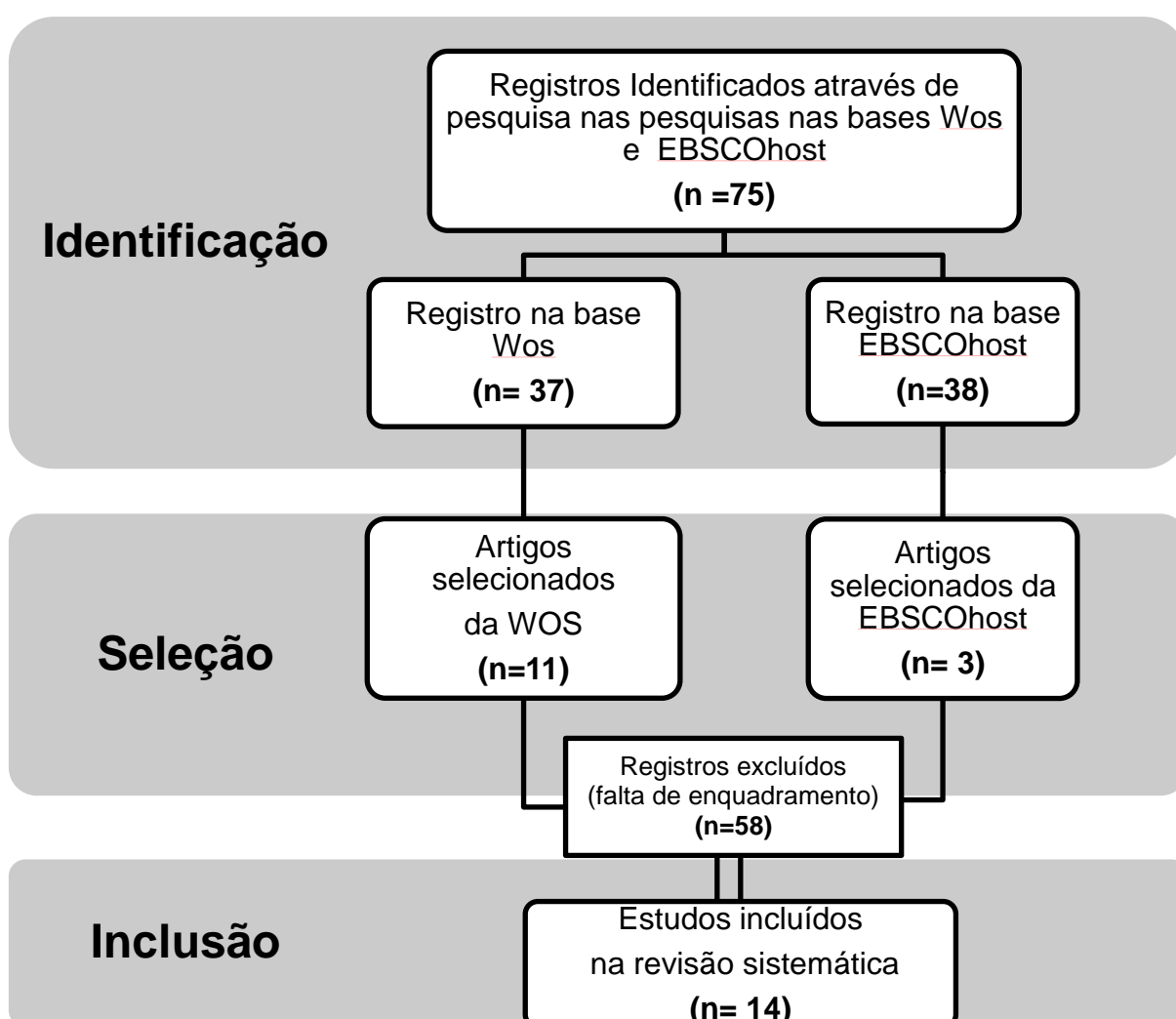
Figura 2 - Número de publicações por ano (n = 75) a partir da busca por ("biological control") AND (nematode) AND (sugarcane) AND (root) na base de dado WoS e EBSCOHost.



Fonte: Base de dados WoS + EBSCOHost de 2000 a outubro de 2022.

Posteriormente foi realizado uma filtragem resultando em exclusões, que ocorreram devido a duplicidade nas bases de dados e falta de enquadramento após a leitura integral do estudo, restando 14 estudos elegíveis á revisão sistemática, conforme o fluxograma na Figura 3. Notavelmente, o número pequeno de artigos selecionados é devido os termos de busca resultar na ocorrência em duplicidade nas bases usadas na pesquisa e também devido ao fato da equação de busca resultar em artigos relacionados ao controle biológico com nematoides entomopatogênicos, não sendo foco do nosso estudo, portanto não foram excluídos.

Figura 3- Fluxograma de elegibilidade dos estudos, segundo critérios de Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses.



Fonte: Base de dados WoS; + EBSCOHost de 2000 a outubro de 2022.

Todos os artigos selecionados seguindo a metodologia PRISMA, foram lidos na íntegra e organizados com seus respectivos títulos, tratamentos/microorganismos

e com os principais resultados e seus autores (Tabela 1).

Tabela 1 - Artigos com a espécie de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) após a seleção com foco no controle biológico de fitonematóides na cultura (2000 a 2022).

N	Título	Tratamento /microrganismo	Principais resultados	Referências
1	Amendments of sugarcane trash induce suppressiveness to plant-parasitic nematodes in a sugarcane soil	Adição de palha de cana de açúcar; palha de cana de açúcar + resíduo de soja; palha de cana de açúcar + N	Reduziu a população de <i>Pratylenchus zeae</i> e <i>Tylenchorhynchus annulatus</i> , aumentou o carbono, biomassa, atividade microbiana e número de nematoides de vida livre;	Stirling et. al 2005
2	Biological control of root-knot nematode <i>Meloidogyne incognita</i> in <i>Psoralea corylifolia</i> plant by enhancing the biocontrol efficacy of <i>Trichoderma harzianum</i> using press mud	<i>T. harzianum</i> + resíduo de prensagem de cana de açúcar	Aumentou a atividade das enzimas de defesa (ascorbato peroxidase, catalase, peroxidase e superóxido dismutase) e reduziu a população de nematoides, o fator de reprodução, o número de massas de ovos e índice de galhas de <i>M. incognita</i> .	Nishat et. al 2022
3	Biological nematicides associated with biofertilizers in the management of <i>Pratylenchus zeae</i> in sugarcane	<i>T. harzianum</i> ; <i>Bacillus</i> sp. + biofertilizantes	Os nematicidas biológicos à base de <i>T. harzianum</i> e <i>Bacillus</i> sp., promoveram reduções na população de nematoides, nematoides por grama de raiz e reduziram a penetração do nematoide no sistema radicular da cana de açúcar e aumentou a mortalidade de nematoides.	Schoen-Neto et. al 2019
4	Efficiency of <i>Bacillus subtilis</i> for root-knot and lesion nematodes management in sugarcane	<i>Bacillus subtilis</i>	Controlou os nematoides por três ciclos de produção da cana de açúcar. Foi mais eficaz no sulco de plantio do que em pós-emergência.	Mazzuchelli; Mazzuchelli; Araujo, 2020

5	Integration of arbuscular mycorrhizal and nematode antagonistic fungi for the biocontrol of root lesion nematode <i>Pratylenchus zeae</i> Graham, 1951 on sugarcane	Fungos micorrízicos arbusculares (FMA) <i>Glomus fasciculatum</i> e <i>G. mosseae</i> ; Fungos antagonistas <i>Arthrobotrys oligospora</i> , <i>Purpureocillium lilacinum</i> (=Paecilomyces lilacinus) e <i>Pochonia chlamydosporia</i> .	Reduziu a população de <i>P. zeae</i> em todas as plantas inoculadas com bioagentes e esta redução foi maior quando fungos antagonistas foram combinados com FMAs. Houve um aumento no crescimento e da massa da parte aérea e crescimento da raiz.	Sankaranarayanan ; Hari, 2021
6	Multiplication of <i>Bacillus subtilis</i> in vinasse and viability to control root-knot in sugarcane	<i>Bacillus subtilis</i>	Aumentou a altura das plantas e massa seca da parte aérea e reduziu a reprodução dos nematoides de galhas; A vinhaça apresentou-se viável como meio de multiplicação de <i>Bacillus subtilis</i> , entretanto não apresentou benefícios quando associados.	Cardozo; Araújo, 2009
7	<i>Pasteuria</i> , a bacterial parasite of plant-parasitic nematodes: its occurrence in Australian sugarcane soils and its role as a biological control agent in naturally-infested soil	<i>Pasteuria penetrans</i>	<i>Pasteuria</i> foi encontrada em todas as regiões onde a cana de açúcar é cultivada. <i>P. penetrans</i> reduziu a produção de ovos de <i>M. javanica</i> nas raízes da cultura, suprimindo o nematóide. Também foi encontrada suprimindo <i>Meloidogyne</i> spp., <i>Pratylenchus zeae</i> , <i>Helicotylenchus dihystra</i> e <i>Tylenchorhynchus annulatus</i> ;	Stirling; Wong; Bhuiyan, 2017

8	Screening <i>Trichoderma</i> spp. as potential agents for biocontrol of <i>Meloidogyne incognita</i> in sugarcane	<i>Trichoderma</i> spp.	Três isolados (3M, 8M, 17M) se destacaram promovendo redução significativa no número de galhas; Os isolados 3M, 8M, 17M e 225T e os isolados 1M, 3M, 10M, 17M, 311T e 322 apresentaram alto potencial para controle de <i>M. incognita</i> , diminuindo o índice de galhas e o fator de reprodução do nematoide. In vitro, todos os filtrados dos isolados de <i>Trichoderma</i> avaliados foram eficientes em promover a mortalidade dos juvenis, após 24 horas; Dezesesseis isolados mostraram eficiência significativa em parasitar ovos de <i>M. incognita</i> .	Freitas et. al 2012
9	The bacterial biocontrol agent <i>Pasteuria penetrans</i> can help control root-knot nematode on sugarcane	<i>Pasteuria penetrans</i>	Em solos naturalmente infestado após 37 semanas, correu uma redução do número de ovos e juvenis de <i>M. javanica</i> e também do índice de galhas; Houve também uma redução da severidade das galhas quando o solo continha mais de 6.000 endósporos/g de solo; Na área experimental a presença de <i>P. penetrans</i> aumentou a biomassa da parte aérea, das raízes e, reduziu o número de ovos, juvenis de segundo estágio e o índice de galhas em relação ao controle não tratado.	Bhuiyan et. al 2018

10	The mesostigmatid mite <i>Protogamasellus mica</i> , an effective predator of free-living and plant-parasitic nematodes	<i>Protogamasellus mica</i>	Reduziu o número de nematoides, obtiveram uma rápida multiplicação da população; as taxas de consumo de nematoides indicaram que, em média, um ácaro e sua progênie consumiram entre 26 e 50 nematoides/dia. Os resultados positivos foram observados em <i>P. zae</i> e <i>T. annulatus</i> .	Stirling et. al 2017
11	Attack rate and prey preference of <i>Lasioseius subterrâneo</i> and <i>Protogamasellus mica</i> on four nematode species	ácaros <i>Lasioseius subterrâneo</i> e <i>Protogamasellus mica</i> no controle de quatro espécies de nematóides: <i>M. javanica</i> (ovos), <i>P. zae</i> (adultos) e dois nematóides microbívoros, <i>Mesorhabditis</i> sp. e <i>Aphelenchus avenae</i> (adultos para ambas as espécies).	Ambas as espécies de ácaros reduziram significativamente a abundância de todas as espécies de nematóide utilizadas nos ensaios. <i>Lasioseius subterrâneo</i> consumiu todos os ovos disponíveis de <i>M. javanica</i> em 72 h. E o <i>Protogamasellus</i> apresentou uma preferência positiva pelo parasita de plantas nematóide <i>P. zae</i>	Manwaring M, et. Al 2020
12	Effect of temperature, pH, carbon and nitrogen ratios on the parasitic activity of <i>Pochonia chlamydosporia</i> on <i>Meloidogyne incognita</i> .	Estudo in vitro foi realizado para determinar o efeito da temperatura, pH, carbono e nitrogênio na atividade de <i>P. chlamydosporia</i> contra <i>Meloidogyne incognita</i>	Com o uso de semente de canhamo e sabugo de milho, o número de propágulos fúngicos aumentou com o aumento da temperatura do solo, e a 20 °C a porcentagem de ovos infectados aumentou significativamente. A porcentagem de infecção do ovo aumentou com o aumento do nível de nitrogênio de 5 para 100 mM quando o carbono foi mantido a 10 mM.	Luambano, ND et.al 2015

13	<i>Bacillus</i> species for controlling root-knot nematodes in development in sugar cane.	bactérias <i>B. subtilis</i> (10 L/ha), <i>B. firmus</i> (10 L/ha), <i>B. amyloliquefaciens</i> (10 L/ha) e o nematicida químico Carbofurano 350 SC (5 L/ha - tratamento padrão) foram aplicados e as mudas inoculadas com 5.000 ovos e juvenis de segundo estágio de <i>M. incognita</i> e <i>M. javanica</i>	O número de ovos e juvenis de segundo estágio (J2) de <i>M. incognita</i> e <i>M. javanica</i> nas raízes das plantas. Todos os tratamentos promoveram o aumento o número de perfilhos, mas não controlaram os nematoides	Ferreira, R. J et. al 2017
14	Isolation and effect of <i>Trichoderma citrinoviride</i> Snef1910 for the biological control of root-knot nematode, <i>Meloidogyne incognita</i> .	A cepa Snef1910 de <i>Trichoderma citrinoviride</i> foi selecionada de um total de 890 isolados fúngicos obtidos do solo da rizosfera de diferentes culturas e selecionados por capacidade nematicidas.	<i>Trichoderma citrinoviride</i> apresentou alta virulência contra juvenis de segundo estágio (J2s) de <i>M. incognita</i> . <i>T. citrinoviride</i> inibiu significativamente a eclosão de ovos com percentuais de inibição de eclosão de 90,27, 77,50 e 67,06% em 48, 72 e 96 h após o tratamento, respectivamente. Snef1910 diminuíram significativamente o número de galhas de raízes, J2s e massas de ovos de nematóides e a densidade populacional de J2s no solo.	Fan et. al 2020

Fonte: Adaptação do autor dos dados da base de dados WoS de 2000 a outubro de 2022.

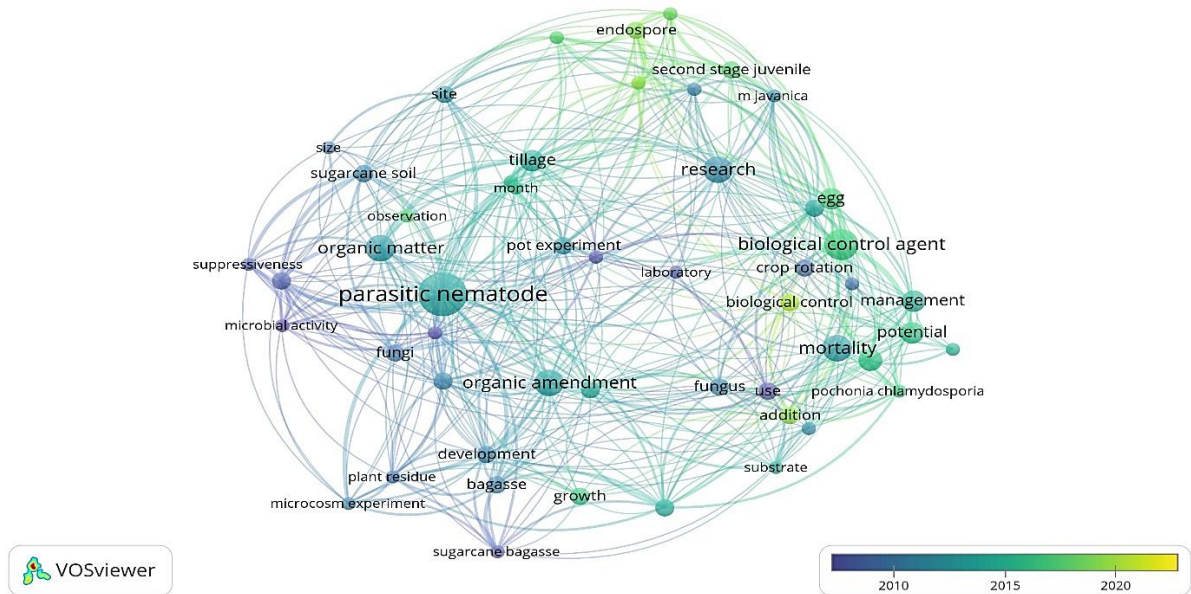
Diferentes agentes de controle de fitonematóides tem seu controle reconhecidamente comprovados, sendo os principais expresso pela quantidade de artigos publicados: *Bacillus* sp. (5 publicações), *Trichoderma* sp. (3 publicações), *Pasteuria penetrans* (2 publicações), *Pochonia chlamydosporia* (2 publicações), e o

ácaro *Protogamasellus mica* (2 publicações), os demais possuem somente uma publicação, como pode ser observado na Tabela 1.

Vale ressaltar que fica evidente que a associação de uma ou mais práticas de controle, desde que sinérgicas, são extremamente benéficas ao manejo de nematoides na cana-de-açúcar. Práticas como: uso de cobertura morta, associação com biofertilizantes e fungos arbusculares são exemplos de sucesso destas associações. Outro ponto evidenciado é que o potencial de biodiversidade existente tem sido utilizado para promover práticas mais sustentáveis de controle.

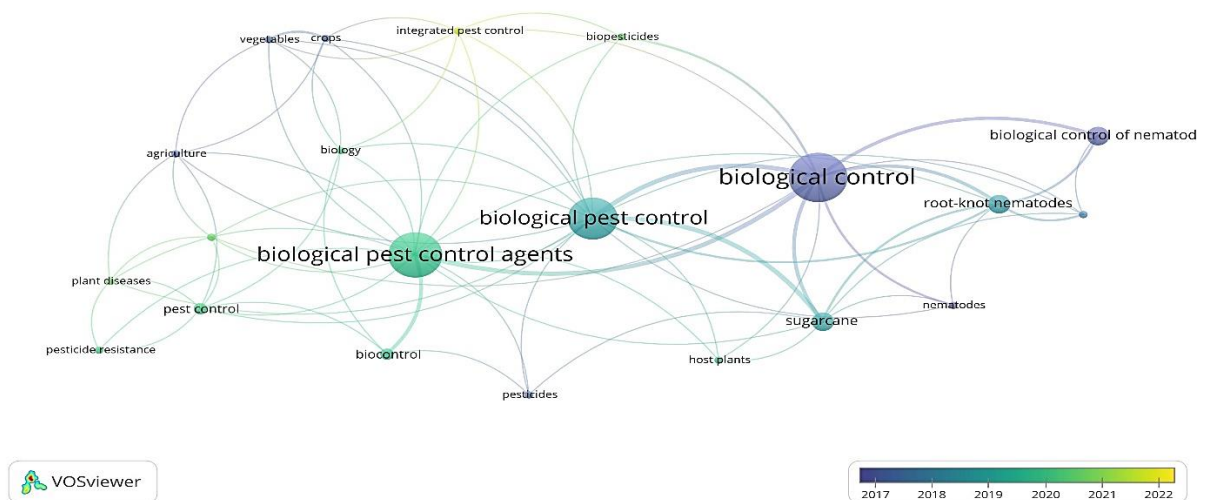
Usando o software VOSviewer foi possível representar a densidade, a frequência e a associação com os termos próximos das principais palavras-chaves. A associação é representada pelas linhas que se conectam e as bolhas de acordo com o tamanho expressam a frequência, já a disposição e forma como são agrupados expressam a proximidade entre as palavras-chave utilizadas. Com o resultado de busca da Wos foi possível obter que as linhas mostram as palavras mais frequentes e que têm alta densidade: “*parasitic nematode*” (10), “*biological control agent*” (9), “*mortality*” (6), “*organic amendment*” (6), “*organic matter*” (6), “*research*” (6), “*efficiency*” (5), “*egg*” (5), “*management*” (5), “*potential*” (5), “*tillage*” (5), Figura 4. A mesma metodologia foi aplicada aos dados obtidos na base de dados da EBSCOhost e resultou na ocorrência as palavras mais frequentes e que têm alta densidade: “*biological control*” (13), “*biological pest control agents*” (12), “*biological pest control*” (11), “*biological control of nematodes*” (5), “*root-knot nematodes*” (5), “*sugarcane*” (5), “*biocontrol*” (3), “*pest control*” (3), figura 5.

Figura 4- Ilustração usando VOSviewer com os dados obtidos na WOs. Quanto maior o tamanho das bolhas, maior é a associação.



Fonte: WOSviewer output (2022).

Figura 5 - Ilustração usando VOSviewer com os dados obtidos na EBSCOhost. Quanto maior o tamanho das bolhas, maior é a associação.

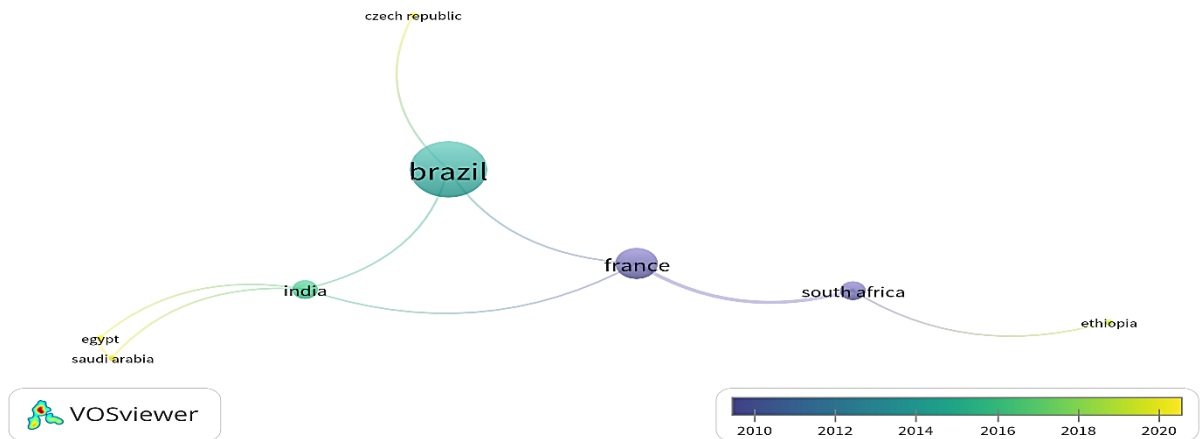


Fonte: WOSviewer output (2022).

Para verificar a contribuição e a colaboração entre os países para o tema analisado foi realizado uma rede de co-autoria de países. Desta forma podemos visualizar parcerias e colaborações de cada país para a pesquisa. Tais números evidenciam o

papel fundamental destes países para com a pesquisa em controle biológico e práticas mais sustentáveis (fig. 6).

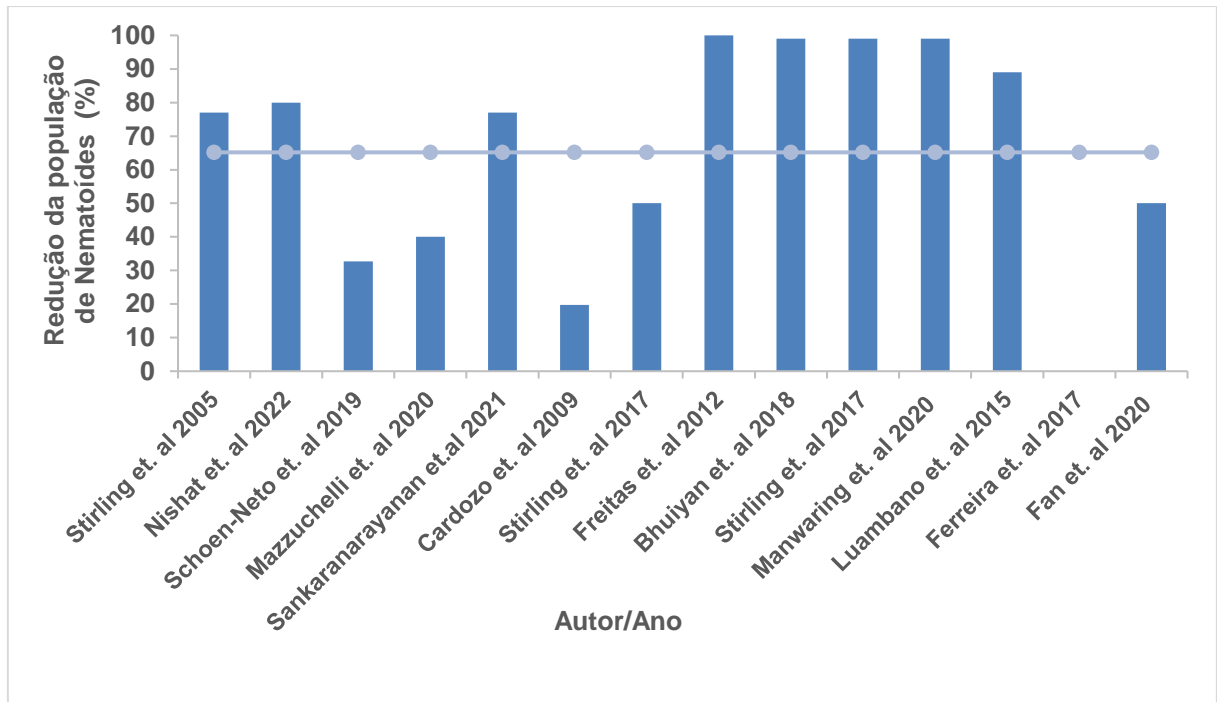
Figura 6 - Visualização da densidade dos países e suas contribuições com a pesquisa.



Fonte: WOSviewer output (2022).

Os valores do percentual de redução da população de nematóides (ovos e/ou juvenis) encontrados nos estudos foram descritos e comparados com a média obtida entre os trabalhos, figura 7. No geral os valores de redução da população de nematóides (%) calculados após a seleção de (n= 14) dos estudos pesquisados foram uma média \pm desvio padrão de 33,02 para a variável analisada. A média dos valores de redução da população de nematóides foi de 65%, sendo que alguns resultados apresentaram percentual acima de 80 % (5), entre 60- 80% (3), 40-60% (2), 20-40% (2) e 20- 0% (2).

Figura 6 - Análise comparativa da redução da população de nematóides (%) com base em dados de estudos (n=14).



Fonte: Base de dados WoS + EBSCOHost de 2000 a outubro de 2022.

5. CONCLUSÃO

O controle de nematóides em cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) apresenta potencial de uso de nematicidas biológicos para o manejo de fitonematóides na cultura da cana-de-açúcar. O uso do controle biológico promove efeitos positivos devido, entre outros, apresentar potencial de ser utilizado isoladamente como forma de controle, ou associado com outras formas de manejo, desde que compatíveis e com sinergismo.

Verificou-se possibilidades para aumento do uso dessa forma de manejo em substituição ao controle químico. Estudos ainda são necessários para atingir os objetivos de ampliar o uso dos nematicidas biológicos para melhorar a performance agrônômica da cana de açúcar sustentavelmente.

Portanto, este trabalho compilou as principais formas de controle biológico de nematóides na cultura da cana-de-açúcar e reforçou o potencial dos bionematicidas, a fim de que os produtores de cana-de-açúcar e setor sucroenergético possam utilizar os bionematicidas isoladamente ou integrado no manejo de nematóides na cultura, contribuindo significativamente para a redução do uso de nematicidas químicos, favorecendo assim uma prática agrícola ambientalmente responsável.

6. REFERÊNCIAS

- ABBASI, M. W.; AHMED, N.; ZAKI, M. J.; SHUAKAT, S. S.; KHAN, D. Potential of *Bacillus* species against *Meloidogyne javanica* parasitizing eggplant (*Solanum melongena* L.) and induced biochemical changes. **Plant and Soil**, v. 375, n. 2, p. 159-173, 2014.
- ABAD, P.; FAVERY, B.; ROSSO, M.N.; CASTAGNONE-SERENO, P. Root-knot nematode parasitism and host response: molecular basis of a sophisticated interaction. **Molecular Plant Pathology**, v. 4, n. 4, p. 217-224, 2003.
- AGROFIT. Produtos técnicos. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 12/04/2022.
- AGROFIT. Produtos técnicos - Ministério da Agricultura. Disponível em: http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso em: 02/05/2021.
- AHMED, S.; MONJIL, M. Effect of *Paecilomyces lilacinus* on tomato plants and the management of root-knot nematodes. **Journal of the Bangladesh Agricultural University**, v. 17, n. 1, p. 9-13, 2019.
- ALCÂNTARA, V. S. B; AZEVEDO, J. L. Isolamento e seleção de fungos predadores de nematoide. **Revista de Agricultura**, v. 56, p. 132-146, 1981.
- ANTUNES, F. A. F.; CHANDEL, A. K.; TERÁN-HILARES, R.; MILESSI, T. S. S.; TRAVALIA, B. M.; FERRARI, F. A.; HERNANDEZ-PÉREZ, A. F.; RAMOS, L.; MARCELINO, P. F.; BRUMANO, L. P.; SILVA, G. M.; FORTE, M. B. S.; SANTOS, J. C.; FELIPE, M. G. A.; SILVA, S. S. Biofuel production from sugarcane in Brazil. IN: KHAN, M. T.; KHAN, I. A. (eds.) **Sugarcane biofuels: Status, potential, and prospects of the sweet crop to fuel the world**, Springer: Cham, 2019, p. 99–121.
- ARAUJO, F. F.; SILVA, J. F. V.; ARAUJO, A. S. F. Influência de *Bacillus subtilis* na eclosão, orientação e infecção de *Heterodera glycines* em soja. **Ciência Rural**, v. 32, n. 2, p. 197-203, 2002.
- BARBOSA, B. E. F.; SANTOS, J. M.; SOARES, P. L. M.; BARBOSA, J. C. Avaliação comparativa da agressividade de *Meloidogyne javanica* e *M. incognita* à variedade SP911049 de cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, v. 33, n. 3, p. 243- 247, 2009.
- BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I. Breeding and cultivar recommendation. IN: SANTOS, F.; BOREM, A.; CALDAS, C. (eds.) **Sugarcane: bioenergy, sugar and ethanol production: technology and prospects**. Universidade Federal de Viçosa, 2012, p. 313–31.
- BARBOSA, B. F. F.; SANTOS, J. M.; BARBOSA, J. C.; SOARES, P. L. M.; RUAS, A. R.; CARVALHO, R. B. Aggressiveness of *Pratylenchus brachyurus* to sugarcane, compared with key nematode *P. zaeae*. **Nematropica**, v. 43, n. 1, p. 119-130, 2013.

BARBOSA, G. V. S.; SANTOS, J. M.; DINIZ, C. A.; CURSI, D. E.; HOFFMANN, H. P. Energy cane breeding. IN: SANTOS, F.; RABELO, S. C.; MATOS, M.; EICHLER, P. **Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives**, Academic Press-Elsevier, p. 103–116, 2020.

BARROS, A. C. B.; MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R. Estudo de interação variedade-nematicida em cana-de-açúcar, em solo naturalmente infestado por *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *Pratylenchus zae*. **Nematologia Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 39-46, 2005.

BELLÉ, C.; KASPARY, T. E.; KUHN, P. R.; SCHMITT, J.; LIMA-MEDINA, I. Reproduction of *Pratylenchus zae* on weeds. **Planta Daninha**, v. 35, n. 2, p. 1-8, 2017.

BHUIYAN, S.A., STIRLING, G.R., GARLICK, K., ANDERSON, J., WICKRAMASINGHE, P. AND WONG, E. The bacterial biocontrol agent *Pasteuria penetrans* can help control root-knot nematode on sugarcane. **International sugar Journal**: 121. Ed .1445, p. 370-372, 2018.

BOND, J. P.; MCGAWLEY, E. C.; HOYS, J. W. Distribution of plant-parasitic nematodes on sugarcane in Louisiana and efficacy of nematicides. **Journal of Nematology**, v. 32, p. 493-501. 2000.

CADET, P. & V.W. SPAULL. 2005. Nematodes parasites of sugarcane. In: LUC, M., R.A. SIKORA & J. BRIDGE (ed). **Plant Parasitic Nematodes in Subtropical and Tropical Agriculture**. 2ª. ed. CABI Publishing, Cambridge, p. 645-674.

CARDOZO, R. B.; ARAUJO, F. F. Multiplicação de *Bacillus subtilis* em vinhaça e viabilidade no controle da meloidoginose, em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 12, p. 1283-1288, 2011.

CARNEIRO, R. M. D. G.; MONTEIRO, J. M. S.; SILVA, U. C.; GOMES, G. Gênero *Meloidogyne*: diagnose através de eletroforese de isoenzimas e marcadores SCAR. IN: OLIVEIRA, C. M.; DOS SANTOS, M. A.; CASTRO, L. H. S. (eds.). **Diagnose de Fitonematoides**. Millennium Editora, Campinas-SP, 2016, p.71-93.

CASTAGNONE-SERENO, P.; DANCHIN, E. G. J.; PERFUS-BARBEOCH, L.; ABAD, P. Diversity and evolution of root-knot nematodes, genus *Meloidogyne*: new insights from the genomic era. **Annual Review of Phytopathology**, v. 51, n. 1, p. 203-220, 2013.

CASTANEDA-ALVAREZ, C.; ABALLAY, E. Rhizobacteria with nematicide aptitude: enzymes and compounds associated. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 32, n. 12, p. 203, 2016.

CASTILLO, P.; VOVLAS, N. *Pratylenchus* (Nematoda: Pratylenchidae): diagnosis, biology, pathogenicity and management. In: HUNT, J. D.; PERRY, R. N. (eds.). **Nematology monographs and perspectives**.: Brill Academic Publishers-Boston, v.

6, 2007, 529 p.

Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada - CEPEA. **Mercado de trabalho do agronegócio: a dinâmica dos empregos formais na agroindústria sucroenergética de 2000 a 2016**. Especial Temático, Piracicaba, v. 1, n. 2, 2018.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; MELO, L. J. O. Efeito de carbofuran, torta de filtro e variedades sobre a densidade populacional de fitonematoides em áreas com mau desenvolvimento da cana-de-açúcar. **Nematologia Brasileira**, v. 28, p. 101-103, 2004.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; SIMOES NETO, D. E. Nematoses da cana-de-açúcar In: SIMÕES NETO, D.; GARCIA, J. F. Cana-de-açúcar: pragas e doenças - Desafios fitossanitários e manejo sustentável. 4 ed. Jaboticabal: Multipress Ltda, 2016, v.4, p. 127-142.

CHAVES, A.; PEDROSA, E. M. R.; WILADINO, L. G.; CARDOSO, M. S. O. Activation of resistance to *Meloidogyne incognita* in sugarcane treated with pyraclostrobin. **Nematoda**, v.3, n.1, p. 1-7. 2016.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A.; ABREU, H. M. C.; ARRUDA, P.; BESPALHOK-FILHO, J. C.; BURNQUIST, W. L.; CRESTE, S.; DI CIERO, L.; FERRO, J. A.; FIGUEIRA, A. V. O.; FILQUEIRAS, T. S.; GROSSI-DE-SÁ, M. F.; GUZZO, E. C.; HOFFMANN, H. P.; LANDELL, M. G. A.; MATSUOKA, N. M.; REINACH, F. C.; ROMANO, E.; SILVA, W. J.; SILVA-FILHO, M. C.; ULIAN, E. C. Sugarcane (*Saccharum x Officinarum*): a reference study for the regulation of genetically modified cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**, v. 4, n. 1, p. 62–89, 2011.

CHOUDHARY, D. K.; JOHRI, B. N. Interactions of *Bacillus* spp. and plants with special reference to induced systemic resistance (ISR). **Microbiological Research**, v. 164, p. 493-513, 2009.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Quarto levantamento - Safra 2019/20. Brasília-DF, v. 7, p. 1-104, 2020.

Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Quarto levantamento – Safra 2020/21. Brasília-DF, v. 4, p. 1-57, 2021.

CURSI, D. E.; HOFFMANN, H. P.; BARBOSA, G. V. S.; BRESSIANI, J. A.; GAZAFFI, R.; CHAPOLA, R. G.; FERNANDES-JUNIOR, A. R.; BALSALOBRE, T. W. A.; DINIZ, C. A.; SANTOS, J. M.; CARNEIRO, M. S. History and current status of sugarcane breeding, germplasm development and molecular genetics in Brazil. **Sugar Tech**, v. 24, p. 112–133, 2022.

CORTE, G. D.; PINTO, F. F.; STEFANELLO, M. T.; GULART, C.; RAMOS, J. P.; BALARDIN, R. S. Tecnologia de aplicação de agrotóxicos no controle de fitonematoides em soja. **Ciência Rural**, v. 44, n. 9, p. 1534-1540, 2014.

DALLEMOLE-GIARETTA, R.; FREITAS, L. G.; LOPES, E. A.; PEREIRA, O. I.; ZOOCA, R. J. F.; FERRAZ, S. Screening of *Pochonia chlamydosporia* Brazilian isolates as biocontrol agents of *Meloidogyne javanica*. **Journal of Crop protection**, v. 42, p. 102-107, 2012.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. IN: HEINZ, D. J. (ed.). **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, v. 1, p. 7–84, 1987.

DE MATOS, M.; SANTOS, F.; EICHLER, P. Sugarcane world scenario. IN: SANTOS, F.; RABELO, S. C.; MATOS, M.; EICHLER, P. Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives, Academic Press-Elsevier, p. 1–19, 2020.

DIAS-ARIEIRA, C. R.; SANTANA, S. D. M.; ARIEIRA, J. D. O.; RIBEIRO, R. C.; VOLK, L. B. Efeito do carbofurano na população de nematoides e no rendimento da cana-de-açúcar em solos arenosos do Paraná. **Nematologia Brasileira**, v. 34, n. 2, p. 118-122, 2010.

DIAS, A. **Bond between soybean and biological products, nematicides grows in Brazil**. Agropages 2020 – Latin America Focus. Disponível em: <<http://www.agropages.com/magazine/detail-254.htm>>. Acesso em 12 abr. 2022.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GIL, M. A.; MENEGATTI, C. C. Danos causados por nematoides a genótipos de cana-de-açúcar em cana planta. **Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 1, p. 69-74, 2003.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Nematoides e pragas de solo em cana-de-açúcar. Potafós, p. 25-32, 2005.

DINARDO-MIRANDA, L. L.; GIL, M. A. Efeito da rotação com *Crotalaria juncea* na produtividade da cana-de-açúcar, tratada ou não com nematicidas no plantio. **Nematologia Brasileira**, v. 29, n. 1, p. 63-66, 2005.

DINARDO-MIRANDA, L. L. Nematoides e pragas da cana-de-açúcar. Campinas: IAC, 2014. 400p.

DECREAEMER, W.; HUNT, D. J. Structure and classification. In: PERRY, R. N.; MOENS, M. (eds.). **Plant Nematology**. Wallingford, CABI, p. 1-30, 2006.

ELHADY, A., GINÉ, A., TOPALOVIC, O., JACQUIOD, S., SØRENSEN, S. J., SORRIBAS, F. J., & HEUER, H. Microbiomes associated with infective stages of root-knot and lesion nematodes in soil. **PLoS ONE**, 12(5), 1–17, (2017).

ESCUADERO, N.; FERREIRA, S. R.; LOPEZ-MOYA, F.; NARANJO-ORTIZ, M. A.; MARIN-ORTIZ, A. I.; THORNTON, C. R.; LOPEZ-LLORCA, L. V. Chitosan enhances parasitism of *Meloidogyne javanica* eggs by the nematophagous fungus *Pochonia chlamydosporia*. **Fungal Biology**, v. 120, p. 572-585, 2016.

FAN, H., YAO, M., WANG, H., ZHAO, D., ZHU, X., WANG, Y., LIU, X., DUAN, Y., CHEN, L. Isolation and effect of *Trichoderma citrinoviride* Sneh1910 for the

biological control of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. **BMC Microbiol** **20**, 299 (2020). <https://doi.org/10.1186/s12866-020-01984-4>

FERRAZ, L. C. C. B.; BROWN, D. J. F. **Nematologia de plantas: fundamentos e importância**. Manaus: Norma Editora, p. 251, 2016.

FERRAZ, L. C. C. B.; MONTEIRO, A. R. Nematoides. IN: AMORIM, L.; REZENDE, J. A. M.; BERGAMIN FILHO, A. (eds.). **Manual de fitopatologia: princípios e conceitos**. Ceres-São Paulo, p. 277-306, 2011.

FERREIRA, R. J., P. L. M. SOARES, R. B. DE CARVALHO, J. M. DOS SANTOS, E. S. P. BATISTA, AND E. J. C. BARBOSA. Bacillus species for controlling root-knot nematodes in development in sugar cane. **Nematropica** **47**, no. 2, p. 106-113, 2017.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agronômico de Campinas no seu estabelecimento no Brasil. IN: DINARDO-MIRANDA, L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (org.). **Cana-de-Açúcar**. Campinas: Instituto Agronômico, p. 31-44, 2010.

FREITAS, M. A.; PEDROSA, E. M. R.; MARIANO, R. L. R.; MARANHÃO, S. R.V. L. Seleção de *Trichoderma* spp. como potenciais agentes de biocontrole para *Meloidogyne incognita* em cana-de-açúcar. **Nematropica**, v. 42, n. 2, p. 115-122, 2012.

FREITAS, M. A., PEDROSA, E. M. R., MARIANO, R. L. R., & MARANHÃO, S. R. V. L. "Screening *Trichoderma* spp. as potential agents for biocontrol of *Meloidogyne incognita* in sugarcane." **Nematropica** **42**: p. 115-122, 2012.

GHAHREMANI, Z.; ESCUDERO, N.; SAUS, E.; GABALDÓN, T.; SORRIBAS, F. J. *Pochonia chlamydosporia* induces plant-dependent systemic resistance to *Meloidogyne incognita*. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1-8, 2019.

GRAHAM, J. H.; STRAUSS, S. L. Biological control of soilborne plant pathogens and nematodes. IN: GENTRY, T. J.; FUHRMANN, J. J.; ZUBERER, D. A. (eds.). **Principles and Applications of Soil Microbiology**. Elsevier, p. 633-654, 2021.

GONZAGA, V.; SANTOS, J. M.; MENDONÇA, R. S.; SANTOS, M. A. Gênero *Pratylenchus*. IN: OLIVEIRA, C. M. G.; SANTOS, M. A.; CASTRO, L. H. S. (eds.). **Diagnose de Fitonematoides**. Editora Millennium- Campinas, 2016. p. 71-98.

GOULART, A. M. C. Análise Nematológica: importância e princípios gerais. **Embrapa Cerrados**. Planaltina, DF, p. 1-46, 2010.

GOULART, A. M. C. Aspectos gerais sobre nematoides-das-lesões-radiculares (gênero *Pratylenchus*). **Embrapa Cerrados**. Planaltina, DF, p. 1-30, 2008.

GOMES, C. B.; BELLÉ, C.; PORTO, A. C. F. Nematoides Fitoparasitas da Cana-de-

açúcar: Ocorrência, Danos e Manejo. IN: SILVA, S. D. A.; MONTERO, C. R. S.; SANTOS, R. C.; NAVA, D. E.; GOMES, C. B.; ALMEIDA, I. R. (eds.). **Sistema de produção de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016, p. 98-103.

GRAY, N. F. Fungi attacking vermiform nematodes. IN: POINAIR J.; G. O.; JASON, H. B. (eds.). **Diseases of nematodes**, Boca Raton: CRC Press, v. 2, 1988, p. 3-38.

GUETSKY, R.; SHTIENBERG, D.; ELAD, Y.; FISCHER, E.; DINOOR, A. Improving biological control by combining biocontrol agents each with several mechanisms of disease suppression. **Phytopathology**, v. 92, p. 976-985, 2002.

HALLMANN, J.; SIKORA, R. A. Toxicity of fungal endophyte secondary metabolites to plant parasitic nematodes and soil-borne plant pathogenic fungi. **European Journal of Plant Pathology**, v. 102, p. 155-162, 1996.

HASHEM, A.; TABASSUM, B.; ABD-ALLAH, E. F. *Bacillus subtilis*: a plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress. **Saudi Journal of Biological Sciences**, v. 26, p. 1291-1297, 2019.

HENRY, R. J. Basic information on the sugarcane plants. IN: Henry, R. J.; Kole, C. (eds.) **Genetics, genomics and breeding of sugarcane**. Enfield: Science Publishers, 1 ed., 2010, p. 633.

HU, H. J.; CHEN, Y. L.; WANG, Y. F.; TANG, Y. Y.; CHEN, S. L.; YAN, S. Z. Endophytic *Bacillus cereus* effectively controls *Meloidogyne incognita* on tomato plants through rapid rhizosphere occupation and repelente action. **Plant Disease**, v. 101, p. 448-455, 2017.

HUNT, D. J.; HANDOO, Z. Root-knot nematodes. IN: MANZANILLA-LÓPEZ, R. H. MARBÁN-MENDOZA, N. (eds.). **Practical Plant Nematology**. Madrid: BBA, 2012. p. 359-409.

HWANG, J.; BENSON, D. M. Biocontrol of *Rhizoctonia* stem and root rot of Poinsettia with *Burkholderia cepacia* and Binucleate *Rhizoctonia*. **Plant Disease**, v. 86, n. 1, p. 47-53, 2002.

JAISWAL, D.; SOUZA, A. P.; LARSEN, S.; LEBAUER, D. S.; MIGUEZ, F. E.; SPAROVEK, G.; BOLLERO, G.; BUCKERIDGE, M. S.; LONG, S. P. Brazilian sugarcane ethanol as an expandable green alternative to crude oil use. **Nature Climate Change**, v. 7, p. 788–792, 2017.

JAYAKUMAR, J.; SEENIVASAN, N. Eco-friendly management of sugarcane nematode in Field. **Annals of Plant Protection Sciences**, v. 28, n. 3, p. 251-255, 2020.

JONES, J. T.; HAEGEMAN, A.; DANCHIN, E. G. J.; GAUR, H. S.; HELDER, J.; JONES, M. G. K.; KIKUCHI, T.; MANZANILLA-LÓPEZ, R.; PALOMARES-RIUS, J. E.; WESEMAEL, W. M. L.; PERRY, R. Top 10 plant-parasitic nematodes in molecular plant pathology. **Molecular Plant Pathology**, v. 14, n. 9, p. 946-961. 2013.

KATH, J.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; FERREIRA, J. C. A.; HOMIAK, J. A.; SILVA, C. R.; CARDOSO, C. R. Control of *Pratylenchus brachyurus* in soybean with *Trichoderma* spp. and resistance inducers. **Journal of Phytopathology**, v. 165, n. 11-12, p. 791-799, 2017.

KHAN, A.; WILLIAMS, K. L.; NEVALAINEN, H. K. M. Infection of plant-parasitic nematodes by *Paecilomyces lilacinus* and *Monacrosporium lysipagum*. **BioControl**, v. 51, p. 659–678, 2006.

KAVITHA, P. G.; JONATHAN, E. I.; NAKKEERAN, S. Effects of crude antibiotic of *Bacillus subtilis* on hatching of eggs and mortality of juveniles of *Meloidogyne incognita*. **Nematologia Mediterranea**, v. 40, p. 203-206, 2012.

LIBERATI, A.; ALTMAN, D.G.; TETZLAFF, J.; MULROW, C.; IOANNIDIS, J.P.A.; CLARKE, M.; DEVEREAUX, P.J.; KLEIJNEN, J.; MOHER, D. **The PRISMA statement for reporting systematic reviews and meta-analyses of studies that evaluate health care interventions: explanation and elaboration**. PLOS Medicine. v. 62. n. 10. p. 1-34. 2009.

LUAMBANO, Nessesia D.; MANZANILLA-LÓPEZ, Rosa H.; KIMENJU, John W.; POWERS, Stephen J.; NARLA, Rama D.; WANJOHI, Waceke J.; KERRY, Brian R.. Effect of temperature, pH, carbon and nitrogen ratios on the parasitic activity of *Pochonia chlamydosporia* on *Meloidogyne incognita*. **Biological Control**, [S.L.], v. 80, p. 23-29, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.09.003>.

MACHADO, A. C. Z.; KANEKO, L.; PINTO, S. V. Controle Biológico. IN: Instituto Mato-grossense do Algodão – IMAmt. **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: biologia e medidas de controle**. Cuiabá, p. 287-312, 2016.

MACHADO, A. C. Z. Bionematicides in Brazil: an emerging and challenging market. **Revisão Anual de Patologia de Plantas-RAPP**, v. 28, p. 35-49, 2022. RAPP - Volume 28, 2022.

MANWARING, M.; NAHRUNG, H. F.; WALLACE, H.. Attack rate and prey preference of *Lasioseius subterraneus* and *Protogamasellus mica* on four nematode species. **Experimental And Applied Acarology**, [S.L.], v. 80, n. 1, p. 29-41, jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10493-019-00456-3>.

MAZZUCHELLI, Rita de Cassia Lima; MAZZUCHELLI, Eduardo Henrique Lima; ARAUJO, Fabio Fernando de. Efficiency of *Bacillus subtilis* for root-knot and lesion nematodes management in sugarcane. **Biological Control**, [S.L.], v. 143, p. 104185, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biocontrol.2020.104185>.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO-MAPA. Mercado de bio defensivos cresce mais de 70% no Brasil em um ano. Disponível em:

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/feffmercado-debiodefensivos-cresce-em-mais-de-50-no-brasil>. Acesso: 12/05/2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Exportações Brasileiras Anuais de Açúcar. Sustentabilidade/Agroenergia/Açúcar-Comércio Exterior Brasileiro – Brasília, 2022a. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia>. Acesso em 12/10/2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. **Exportações Brasileiras Anuais de Etanol**. Sustentabilidade/Agroenergia/Etanol-Comércio Exterior Brasileiro – Brasília, 2022b. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia>. Acesso em 12/10/2022.

MATOS, P. F.; MARAFON, G. J. Dinâmica territorial do setor sucroenergético em Santa Vitória, Minas Gerais. **Revista Campo-Território**, v. 15, n. 37, p. 1-18, 2020.

MATSUOKA, S.; MACCHERONI, W. Manejo de doenças. IN: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (eds.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologias e perspectivas**. Viçosa-MG. 2 ed., p. 161-180, 2012.

MAZZUCHELLI, R. C. L.; MAZZUCHELLI, E. H. L.; ARAUJO, F. F. Efficiency of *Bacillus subtilis* for root-knot and lesion nematodes management in sugarcane. **Biological Control**, v. 43, 2020.

MEDEIROS, H. A.; ARAÚJO FILHO, J. V.; FREITAS, L.G.; CASTILLO, P.; RUBIO, M. B.; HERMOSA, R.; MONTE, E. Tomato progeny inherit resistance to the nematode *Meloidogyne javanica* linked to plant growth induced by the biocontrol fungus *Trichoderma atroviridae*. **Nature Scientific Reports**, v. 7, 2017.

MIZUMOTO, S.; HIRAI, M.; SHODA, M. Enhanced iturin A production by *Bacillus subtilis* and its effect on suppression of the plant pathogen. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 75, n. 6, p. 1267-1274, 2007.

MORGADO, T. D. T.; GUERRA, J. T.; ARAUJO, F. F.; MAZZUCHELLI, R. C. L. Effectiveness and persistence of biological control of nematodes in sugarcane. **African Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 49, p. 4490-4495, 2015.

MOHER D, LIBERATI A, TETZLAFF J, ALTMAN DG; PRISMA Group. Preferred reporting items for systematic reviews and metanalyses: the PRISMA statement [published correction appears in *Int J Surg*. 2010;8(8):658]. **Int J Surg**. 2010;8(5):336-341. <https://doi.org/10.1016/j.ijisu.2010.02.007>

MORTON, O. C.; HIRSCH, P. R.; KERRY, B.R. Infection of plant-parasitic nematodes by nematophagous fungi – a review of the application of molecular biology to understand infection process and to improve biological control. **Nematology**, v. 6, p. 161-170, 2004.

MOURA, R.M. & A.V. ALMEIDA. 1981. Estudos preliminares sobre a ocorrência de fitonematoides associados à cana-de-açúcar em áreas de baixa produtividade agrícola no estado de Pernambuco. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE NEMATOLOGIA**, V, Piracicaba. Resumos, p. 213-220.

MOURA, R. M. Dois anos de rotação de culturas em campos de cana-de-açúcar para controle de meloidoginose. Efeito dos tratamentos na população do nematoide. **Nematologia Brasileira**, v. 15, n. 1, p. 1-7, 1991.

MOURA, R. M.; MACEDO, M. E. A. Efeito da aplicação de carbofuran em populações de nematoides ecto e endoparasitas de cana-de-açúcar e no desenvolvimento de cana-planta. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NEMATOLOGIA, 20.,1997, Gramado. Resumos... Gramado: Sociedade Brasileira de Nematologia, 1997. p. 73.

MOURA, R. M.; MOURA, E. M. R.; PEDROSA, S. R. V. L.; MARANHÃO, M. E. A.; MACEDO, A. M.; MOURA, E. G.; SILVA, R.; FERREIRA LIMA, R. M.; Moura Brito, E. M. R. Ocorrência dos nematoides *Pratylenchus zaeae* e *Meloidogyne* spp. em cana-de-açúcar no Nordeste do Brasil. **Fitopatologia Brasileira**, v. 25, n. 1, p. 101-103, 2000.

MOURA, R. M.; REGIS, E. M. O.; MOURA, A. M. Espécies e raças de *Meloidogyne* assinaladas em cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Norte. **Nematologia Brasileira**, v.14, p.34-38. 1990.

MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. V.; MARANHA, S. R. V. L.; MOURA, A. M.; MACEDO, M. E. A.; SILVA, E. G. Nematoides associados à cana-de-açúcar no Estado de Pernambuco, Brasil. **Nematologia Brasileira**, v. 23, n. 2, p. 92-99, 1999.

MOZAMBANI, A. E.; PINTO, A. S.; SEGATO, S. V.; MATTIUZ, F. M. The history and morphology from sugarcane. IN: SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. M. (eds.). **Update on production of cane sugar**. Piracicaba-SP, v. 415. Livroceres; 2006. p. 118.

NACHILUK, K. **Alta na produção e exportações de açúcar marcam a safra 2020/21 de cana**. Análises e Indicadores do Agronegócio, São Paulo, v. 16, n. 6, jun. 2021, p. 1-

5. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/AIA/AIA-21-2021.pdf>>. Acesso em 12 abr. 2022.

NICOL, J. M.; TURNER, S. J.; COYNE, D. L.; NIJS, L. D.; HOCKLAND, S.; TAHNA MAAFI, Z. Current nematode threats to world agriculture. IN: JONES, J.; CHEYSEN, G, FENOLL, C. (eds.) **Genomics and molecular genetics of Plant-Nematode Interactions**. Berlin: Springer, 2011. p. 21-43.

NISHAT, Y., DANISH, M., MOHAMED, H. I., SHAIKH, H., ELHAKEM, A. Biological Control of Root-Knot Nematode *Meloidogyne incognita* in *Psoralea corylifolia* Plant by Enhancing the Biocontrol Efficacy of *Trichoderma harzianum* Using Press Mud. **Phyton-International Journal of Experimental Botany**, 91(8), p. 1757–1777, 2022.

NOVARETTI, W. R. T.; BENETTI, E.; SILVA, F. M. L.; DUARTE, R. J. F.; REIS, A. M.

Interaction between the nematicide nimitz and herbicides used in sugarcane production and *Pratylenchus zaeae*. **Journal of Nematology**, v. 46, n. 1, p. 213-213, 2014.

OMARJEE, J.; BALANDREAU, J.; SPAULL, V.W.; CADET, P. Relationships between Burkholderia populations and plant parasitic nematodes in sugarcane. **Applied Soil Ecology**, [S.L.], v. 39, n. 1, p. 1-14, maio 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2007.11.001>.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE)/ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO) - OCDE-FAO. Perspectivas Agrícolas 2020-2029, OECD Publishing, París, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1787/a0848ac0-es>>. Acesso em 12 abr. 2022.

OLIVEIRA, C. M. G.; KUBO, R. K. **Reconhecimento, danos e controle dos nematoides parasitos da cana-de-açúcar**: nematoides parasitos da cana-de-açúcar. Instituto Biológico, p. 1-19, 2007.

PASCHOLATI, S. F.; SOUZA, V. H. M.; CARDOSO FILHO, J. A. Indução de resistência por *Trichoderma*. IN: MEYER, M. C.; MAZARO, S. M.; SILVA, J. C. (eds.). **Trichoderma: Uso na Agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 2019.

PATERSON, A. H.; WANG, X.; LI, J.; TANG, H. Ancient and recent polyploidy in monocots. IN: SOLTIS, P.; SOLTIS, D. (eds.). **Polyploidy and Genome Evolution**. Springer, Berlin, 2012, p. 93–108.

PEASE, W. S.; ALBRIGHT, D.; DEROOS, C.; GOTTSMAN, L.; KYLE, A. D.; MORELLOFROSCHE, R.; ROBINSON, J. C. Pesticide contamination of round water in California. Berkeley: University of California, 1995. 145 p.

PELOSI, E. M.; SHIKIDA, P. F. A. A dinâmica do mercado de trabalho formal do setor sucroalcooleiro paranaense de 2000-2017: Evolução dos empregos e perfil dos trabalhadores. **Desenvolvimento Em Questão**, v. 18, n. 53, p. 386–407, 2020.

PEREIRA, W.; LEITE, J. M.; SOUZA, G. H.; SANTOS, C. L.; REIS, V. M. Acúmulo de biomassa em genótipos de cana-de-açúcar inoculadas com diferentes estirpes de bactérias diazotróficas. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 2, p. 363-370, 2013.

PHAE, C. G.; SHODA, M.; KITA, N.; NAKANO, M.; USHIYAMA, K. Biological control of crown and root rot and bacterial wilt of tomato by *Bacillus subtilis* BN22. **Annals of the Phytopathological Society of Japan**, v. 58, p. 329-339, 1992.

PINHEIRO, J. B.; DA SILVA, G. O.; PEREIRA, R. B. **Nematoides na cultura da batata**. Brasília, DF: Embrapa, 2015. 12 p.

PODESTÁ, G. S.; AMORA, D. X.; MAFFIA, L. A.; NASU, E. G. C.; FERRAZ, S.; FREITAS, L. G. Effect of time between soil infestation with *Pochonia chlamydosporia* and planting on the efficacy of the fungus in managing *Meloidogyne javanica*. **Crop Protection**, v. 90, p. 77-83, 2016.

RAO, M. S.; NAIK, D.; MANJUNATH, S.; REDDY, P. Management of *Meloidogyne incognita* on eggplant by integrating endomycorrhiza, *Glomus fasciculatum* with bio-agent *Verticillium chlamydosporium* under field conditions. **Indian Journal of Nematology**, v. 33, p. 29-32, 2003.

RATÓN, T. D. M. L. O.; YANO, R.; GÁMEZ, O. R.; FLOH, E. I. S.; DÍAZ, M. D. J. S.; BARBOSA, H. R. Isolation and characterization of aerobic endospore forming Bacilli from sugarcane rhizosphere for the selection of strains with agriculture potentialities. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 28, n. 4, p. 1593-1603, 2012.

RIMÉ, Delphine; NAZARET, Sylvie; GOURBIÈRE, François; CADET, Patrice; MOËNNE-LOCCOZ, Yvan. Comparison of Sandy Soils Suppressive or Conducive to Ectoparasitic Nematode Damage on Sugarcane. **Phytopathology**, [S.L.], v. 93, n. 11, p. 1437-1444, nov. 2003. Scientific Societies. <http://dx.doi.org/10.1094/phyto.2003.93.11.1437>.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION - RFA. **Markets and Statistics Annual Ethanol Production**. U. S. and World ethanol production. Disponível em: <<https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>>. Acesso 12 abr. 2022.

RIBEIRO, L. M.; D. CAMPOS, H. D.; TESSMANN, D. J.; DIAS- ARIEIRA, C. R.; DAS NEVES, D. L.; DA SILVA, C. N. Identification of *Pratylenchus* spp. in soybean in Central region of Brazil using the ITS-5.8S rDNA region. **African Journal of Agricultural Research**, v. 8, p. 5699-5702, 2013.

RINALDI, L. K.; NUNES, J.; MONTECELLI, T. D. N. Efeito de texturas de solos sobre *Meloidogyne javanica* e *Meloidogyne incognita* em soja. **Cultivando o saber**, v. 7, n. 1, p. 94-101, 2014.

RODRIGUES, G. S. S. C.; ROSS, J. L. S. **A trajetória da cana-de-açúcar no Brasil: perspectivas geográfica, histórica e ambiental**. Editora da Universidade Federal de Uberlândia/MG-EDUFU, 2020, 272p.

ROSA, R. C. T.; MOURA, R. M.; PEDROSA, E. M. R. Efeitos do uso de *Crotalaria juncea* e carbofuran observados na colheita de cana planta. **Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 2, p.167-171, 2003.

ROSSETO, R.; SANTIAGO, A. D. **Doenças da cana-de-açúcar**. Agência de Informação EMBRAPA: Cana-de-açúcar, 2005. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_55_711200516718.html. Acesso em 12/04/2022.

SANKARANARAYANAN, C.; HARI. K. Bio-management of root knot nematode *Meloidogyne javanica* in sugarcane by combined application of arbuscular mycorrhizal fungi and nematophagous fungi. **Journal of Sugarcane Research**, v. 3, n. 1, p. 62-70, 2013.

SANTOS, M. L.; BERLITZ, D. L.; WIEST, S. L. F.; SCHÜNEMANN, R.; KNAAK, N. Benefits associated with the interactions of endophytic bacteria and plants. **Brazilian**

Archives of Biology and Technology, v. 61, 2018.

SANTOS, H. F.; CASTILLO, R. Vulnerabilidade territorial do agronegócio globalizado no Brasil: crise do setor sucroenergético e implicações locais. **GEOUSP Espaço e Tempo** (Online), v. 24, n. 3, p. 508-532, 2020.

SANTOS, F.; EICHLER, P.; MACHADO, G.; DE MATTIA, J.; SOUZA, G. By-products of the sugarcane industry. IN: SANTOS, F.; RABELO, S. C.; MATOS, M.; EICHLER, P. **Sugarcane Biorefinery, Technology and Perspectives**, Academic Press-Elsevier, p. 21-48, 2020.

SAVARIO, C. F.; HOY, J. W. Microbial communities in sugarcane field soils with and without a sugarcane cropping history. **Plant and Soil**, v. 341, n. 1–2, p. 63-73, 2011.

SCHOEN-NETO, G. A.; SOARES, M. R. C.; SORACE, M.; DIAS-ARIEIRA, C. R. Biological nematicides associated with biofertilizers in the management of *Pratylenchus zeae* in sugarcane. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 14, n. 4, 2019.

SEGATO, S. V.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NOBREGA, J. C. M. (eds.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: [s.n.], . 415 p., 2006.

SEVERINO, J. J.; DIAS-ARIEIRA, C. R.; TESSMANN, D. J. Nematodes associated with sugarcane (*Saccharum* spp.) in sandy soils in Parana, Brazil. **Nematropica**, v. 40, n. 1, p. 111-119, 2010.

SIDDIQUI, Z. A.; AKHTAR, M. S. Synergistic effects of antagonistic fungi and a plant growth promoting rhizobacterium, an arbuscular mycorrhizal fungus, or composted cow manure on populations of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato. **Biocontrol Science and Technology**, v. 18, p. 279–290, 2008.

SIKORA, R. A.; SCHONBECK, F. Effect of vesicular arbuscular mycorrhiza (*Endogone mosseae*) on the population dynamics of the root-knot nematodes (*Meloidogyne incognita*) and *M. hapla*. IN: INTERNATIONAL PLANT PROTECTION CONGRESS (8th), Moscow. **Reprints and information section V**. Moscow, p. 158-166, 1975.

SILVA, J. P. N.; SILVA, M. R. N. **Noções da cultura da cana-de-açúcar**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás e a Universidade Federal de Santa Maria, p. 105, 2012.

SILVA, M. A.; ARAUJO, A.P.; SOUZA, J.F.; KIECKBUSCH, T.G. Inactivation of *Bacillus subtilis* and *Geobacillus stearothermophilus* inoculated over metal surfaces using supercritical CO₂ process and nisin. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 109, p. 87-94, 2016.

SOARES, P. L. M.; NASCIMENTO, D. D.; VIDAL, R. L.; FERREIRA, R. J. Controle biológico: Prática fundamental para o manejo sustentável de nematoides. In: Congresso Brasileiro de Nematologia, 34, 2017, Vitória. **Anais**. Vitória: Sociedade Brasileira de Nematologia, p. 1-5, 2017.

STEVEN, A.; SOLOMON, S.; DARAMOLA, F. Biodiversity of plant-parasitic nematodes of sugarcane in Bacita, Nigeria. **Journal of Entomology and Nematology**, v. 6, n. 6, p. 71-79, 2014.

STIRLING, G. R. Biological control of plant-parasitic nematodes: An ecological perspective, a review of progress and opportunities for further research. IN: DAVIES, K.; SPIEGEL, Y. (eds.) **Biological Control of Plant-Parasitic Nematodes: Progress in Biological Control**, v. 11. Springer, Dordrecht, p. 1-38, 2011.

STIRLING, G. R., HALPIN, N.V. AND M. J. BELL. A surface mulch of crop residues enhances suppressiveness to plant-parasitic nematodes in sugarcane soils. **Nematropica**, 41: p. 109-121, 2011.

STIRLING, G. R.; WILSON, E. J.; STIRLING, A. M.; PANKHURST, C. E.; MOODY, P. W.; BELL, M. J.; HALPIN, N. Amendments of sugarcane trash induce suppressiveness to plant-parasitic nematodes in a sugarcane soil. **Australasian Plant Pathology**, [S.L.], v. 34, n. 2, p. 203, 2005. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1071/ap05022>.

STIRLING, G. R.; WONG, E.; BHUIYAN, S. Pasteuria, a bacterial parasite of plant-parasitic nematodes: its occurrence in australian sugarcane soils and its role as a biological control agent in naturally-infested soil. **Australasian Plant Pathology**, [S.L.], v. 46, n. 6, p. 563-569, 11 out. 2017. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s13313-017-0522-z>.

STIRLING, Graham R.; STIRLING, A. Marcelle; WALTER, David E. The *Mesostigmatid* Mite *Protogamasellus mica*, an Effective Predator of Free-Living and Plant-Parasitic Nematodes. **Journal Of Nematology**, [S.L.], v. 49, n. 3, p. 168-176, 1 jan. 2017. Walter de Gruyter GmbH. <http://dx.doi.org/10.21307/jofnem-2017-080>.

TAYLOR, A. L.; SASSER, J. N. **Biology, identification, and control of root-knot nematodes**. Raleigh: North Carolina State University: USAID, p. 111, 1978.

TOKUDA, Y.; ANO, T.; SHODA, M. Survival of *Bacillus subtilis* NB22 and its transformant in soil. **Applied Soil Ecology**, v. 2, n. 2, p. 85-94, 1995.

TORONTO, C.; REMINGTON, R. **A step-by-step guide to conducting an integrative review**. Springer, 2020.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR – UNICA. **Observatório da cana**. Disponível em: <https://observatoriodacana.com.br/>. Acesso em 12/04/2022.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. Foreign Agricultural Service. **Sugar: World Markets and Trade**, 2021. Disponível em: <https://www.fas.usda.gov/data/sugar-world-markets-and-trade>. Acesso em 12/04/2022.

VARGAS, W. A.; MANDAWA, J. C.; KENERLEY, C. M. Plant-derived sucrose is a key element in the symbiotic association between *Trichoderma virens* and maize plants. **Plant Physiology**, v. 151, p. 792-808, 2009.

VASCONCELOS, A. C. M. Desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea de socas de cana-de-açúcar sob dois sistemas de colheita: crua mecanizada e queimada manual. 2002. 140 f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) – UNESP, Jaboticabal, 2002.

XIANG, N.; LAWRENCE, K. S.; KLOEPPER, J. W.; DONALD, P. A.; MCINROY, J. A.; LAWRENCE, G. W. Biological control of *Meloidogyne incognita* by spore-forming plant growth-promoting rhizobacteria on cotton. **Plant Disease**, v. 101, n. 5, p. 774-784, 2017.

ZHANG, J.; LI, Y.; YUAN, H.; SUN, B.; LI, H. Biological control of the cereal cyst nematode (*Heterodera filipjevi*) by *Achromobacter xylosoxidans* isolate 09X01 and *Bacillus cereus* isolate 09B18. **Biological Control**, v. 92, n. 1, p. 1-6, 2016.

ZHANG, J.; CHEN, G. Y.; LI, X. Z.; HU, M.; WANG, B. Y.; RUAN, B. H.; ZHOU, H.; ZHAO, L. X.; DING, Z. T.; YANG, Y. B. Phytotoxic, antibacterial, and antioxidant activities of mycotoxins and other metabolites from *Trichoderma* sp. **National Product Research**, v. 31, p. 2745-2752, 2017.