

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 12/07/2023

At the author's request, the full text of this thesis / dissertation will not be available online until July 12, 2023

MARINA GUIMARÃES PACIFICO

***Bacillus* spp. NO CONTROLE BIOLÓGICO DO COMPLEXO DE DOENÇAS
CAUSADAS POR *Fusarium-Meloidogyne* EM ALGODOEIRO**

Botucatu

2021

MARINA GUIMARÃES PACIFICO

***Bacillus* spp. NO CONTROLE BIOLÓGICO DO COMPLEXO DE DOENÇAS
CAUSADAS POR *Fusarium-Meloidogyne* EM ALGODOEIRO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Proteção de Plantas).

Orientador: Dr. Wagner Bettiol

**Botucatu
2021**

P117b	<p>Pacifico, Marina Guimarães</p> <p>Bacillus spp. no controle biológico do complexo de doenças causadas por Fusarium-Meloidogyne em algodoeiro / Marina Guimarães Pacifico. -- Botucatu, 2021</p> <p>127 p.</p> <p>Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu</p> <p>Orientador: Wagner Bettiol</p> <p>1. Agricultura. 2. Proteção de Plantas. 3. Controle Biológico. 4. Rizobactérias. 5. Integração fungo-nematoide. I. Título.</p>
-------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: *Bacillus* spp. NO CONTROLE BIOLÓGICO DO COMPLEXO DE DOENÇAS CAUSADAS POR *Fusarium-Meloidogyne* EM ALGODOEIRO

AUTORA: MARINA GUIMARÃES PACIFICO

ORIENTADOR: WAGNER BETTIOL

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (PROTEÇÃO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. WAGNER BETTIOL (Participação Virtual)
Microbiologia Ambiental / Embrapa Meio Ambiente

Prof. Dr. CARLOS GILBERTO RAETANO (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

Prof. Dr. EDSON LUIZ FURTADO (Participação Virtual)
Proteção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

Profa. Dra. BÁRBARA ECKSTEIN (Participação Virtual)
Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia

Dr DANIEL WINTER HECK (Participação Virtual)
Plant Pathology / Cornell University

Botucatu, 12 de julho de 2021

AGRADECIMENTOS

A Deus e à minha família, por tudo.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao Programa de Pós-graduação em Proteção de Plantas da Faculdade de Ciências Agrônomicas (FCA) da Unesp Câmpus de Botucatu, pela oportunidade.

Ao professor Wagner Bettiol, pela orientação no doutorado, por todos os ensinamentos, e pelos incentivos durante a minha carreira e trajetória profissional.

Além da amizade e mentoria para as melhores escolhas da vida e por sempre acreditar no meu potencial.

À Bárbara Eckstein, por compartilhar seu conhecimento, pela ajuda no desenvolvimento e execução do trabalho, pela amizade e por me receber em Brasília.

À Dra. Regina Carneiro, pelas contribuições no trabalho.

Ao Prof. Pedro Luiz Martins Soares, pelas contribuições e ajuda no desenvolvimento do trabalho.

Ao Wandinho, pela amizade, risadas e por me ajudar na manutenção do trabalho em Jaboticabal.

Aos amigos do Laboratório de Microbiologia Ambiental "Raquel Ghini" da Embrapa Meio Ambiente, pela amizade, ajuda nas atividades e por vivenciar momentos tão importantes.

À Embrapa Meio Ambiente, por disponibilizar toda estrutura de trabalho, e aos funcionários do LMA, pelos ensinamentos e auxílio nas atividades do projeto.

De forma especial, à Laura Bononi, Lucas Guedes, Peterson, David, Mirian, Leo, Martinha, Neusa, Anamaria, Lais, Lilian e Thiago, primeiramente pela amizade, risadas e por toda ajuda no desenvolvimento desse trabalho, pois sem vocês isso não seria possível.

RESUMO

O Brasil é o quarto maior produtor e o segundo exportador de algodão do mundo. A murcha de fusário (*Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* - *Fov*) e a meloidoginose (*Meloidogyne incognita* raças 3 e 4 - *Mi*) causam sérios problemas às plantas, tanto isoladamente quanto em associação. O controle dessas doenças é difícil, oneroso e acarreta perdas de produtividade. Além do uso de variedades resistentes, uma alternativa, para ambos os patógenos, é o controle biológico, pois, além da eficiência, diminui a pressão da utilização de produtos químicos. Entre os agentes de biocontrole, *Bacillus* spp. têm se destacado no controle de doenças causadas por esses patógenos. O objetivo do presente trabalho foi selecionar e caracterizar isolados de *Bacillus* antagonistas a ambos os patógenos, bem como selecionar isolados promotores de crescimento das plantas. Para alcançar esses objetivos, foram realizados testes *in vitro* com 41 isolados de *Bacillus* (35 obtidos de algodoeiros, cinco da coleção da Embrapa Meio Ambiente e um produto comercial) quanto à caracterização bioquímica (produção de sideróforos, ácido indolacético, ácido cianídrico, catalase, solubilização de fosfato e assimilação de nitrogênio), à inibição do crescimento micelial e da germinação de esporos de *Fov*, e sobre a eclosão e a mortalidade de juvenis de *Mi*. Os isolados selecionados *in vitro* foram testados em casa de vegetação para verificar o potencial em controlar *Fov* e *Mi* raças 3 e 4, isoladamente e com ambos os patógenos, além de ensaios para a promoção de crescimento de plantas. Os isolados selecionados na fase final foram identificados molecularmente. Para produção de ácido indolacético, assimilação de nitrogênio, sideróforos e catalase 20, 25, 23 e 21 isolados, respectivamente, apresentaram resultados positivos. Na inibição do crescimento micelial, 11 isolados apresentaram antagonismo a *Fov* e 15 reduziram significativamente a germinação de esporos. Onze isolados causaram mortalidade significativa de juvenis de *Mi* e quatro proporcionaram as menores áreas abaixo da curva de progresso da eclosão de ovos. Nesta fase foram selecionados os isolados S2527, S2545 e AP03. Esses isolados, bem como a mistura dos mesmos, foram avaliados quanto à promoção de crescimento de plantas e sobre o fator de reprodução dos nematoides. A mistura contendo os isolados AP03+S2527 promoveu o crescimento de plantas de algodão em rizotrons, aumentando a altura, o diâmetro do caule e os pesos frescos da parte aérea e do sistema radicular. Os isolados S2527, S25245 e AP03 reduziram em, aproximadamente, 76% o fator de

reprodução de *Mi* aos 100 dias. Dessa maneira, esses isolados e suas misturas foram testados sobre o complexo *Fusarium-Meloidogyne* em casa-de-vegetação, sendo observado que os isolados AP03, S2545, S2527 e suas misturas foram eficientes em controlar o complexo *Fusarium-Meloidogyne*, com aproximadamente 56% de redução do número de ovos por planta aos 60 dias e 85% de redução do número de ovos aos 120 dias após a semeadura. Além disso, esses isolados aumentaram o número de planta que sobreviveram na presença de ambos os patógenos. Esses três isolados foram identificados como *Bacillus velezensis*.

Palavras-chave: controle biológico; *bacillus*; galha; fusariose; algodão.

ABSTRACT

Brazil is the fourth largest producer and the second exporter of cotton in the world. *Fusarium* wilt (*Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* - *Fov*) and nematode root-knot (*Meloidogyne incognita* races 3 and 4 - *Mi*) are destructive to plants, both alone and in association. The control of these diseases is difficult, costly and leads to losses in productivity. In addition to the use of resistant varieties, an alternative, for both pathogens, is biological control, because, in addition to efficiency, it reduces the pressure of using chemical products. Among the biocontrol agents, *Bacillus* spp. has stood out in the control of diseases caused by these pathogens. The aim was to select and characterize the antagonistic *Bacillus* to both pathogens, as well as select that promote plant growth. To achieve these objectives, *in vitro* tests were carried out with 41 *Bacillus* isolates (35 obtained from cotton, five from the Embrapa Environment collection and one commercial product) for biochemical characterization (production of siderophores, indolacetic acid, hydrocyanic acid, catalase, phosphate solubilization and nitrogen assimilation), inhibition of mycelial growth and *Fov* spore germination, and on the hatching and mortality of *Mi* juveniles. The isolates selected *in vitro* were tested in a greenhouse to verify the potential to control *Fov* and *Mi* races 3 and 4, alone and with both pathogens, in addition to assays for the promotion of plant growth. Those selected were identified molecularly. For production of indolacetic acid, assimilation of nitrogen, siderophores and catalase 20, 25, 23 and 21 isolates, respectively, showed positive results. In the inhibition of mycelial growth, 11 isolates showed antagonism to *Fov* and 15 significantly reduced spore germination. Eleven isolates caused significant mortality of *Mi* juveniles and four provided the smallest areas below the egg hatch progress curve. In this phase, isolates S2527, S2545 and AP03 were selected. These isolates, as well as their mixture, were evaluated for the promotion of plant growth and for the nematode reproduction factor. The mixture containing the AP03+S2527 isolates promoted the growth of cotton plants in rhizotrons, increasing the height, stem diameter and fresh weight of shoots and roots. The isolates S2527, S25245 and AP03 reduced the reproduction factor of *Mi* by approximately 76% at 100 days. In this way, these isolates and their mixtures were tested on the *Fusarium-Meloidogyne* complex in greenhouse, and it was observed that the isolates AP03, S2545, S2527 and their mixtures were efficient in controlling the *Fusarium-Meloidogyne* complex, with approximately 56% of reduction in the number of eggs per plant at 60 days and 85%

reduction in the number of eggs at 120 days after sowing. In addition, these isolates kept the plant alive longer in the presence of both pathogens. These three isolados were identified as *Bacillus velezensis*.

Keywords: biological control; *bacillus*; root-knot nematode; fusarium wilt; cotton.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Isolados de *Bacillus* que apresentaram halos de inibição contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*, in vitro 57
- Figura 2 - Isolados de *Bacillus* que não exibiram atividade antagônica contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*, in vitro58
- Figura 3 - Produção e termoestabilidade de metabólitos produzidos pelo isolado de *Bacillus* S2545 contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*, in vitro, nas concentrações 5% (A) e 10% (B). Test – Testemunha (100% BDA).
1,2,3,4,5 – Dia da multiplicação do metabólito63
- Figura 4 - Produção e termoestabilidade de metabólitos produzidos pelo isolado de *Bacillus* S2548 contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*, in vitro, nas concentrações 5% (A) e 10% (B). Test – Testemunha (100% BDA). 1, 2, 3, 4, 5 – Dia da multiplicação do metabólito63
- Figura 5 - Produção e termoestabilidade de metabólitos produzido pelo isolado de *Bacillus* AP 210 contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*, in vitro, na concentração de 10% ao quarto dia da multiplicação. Test – Testemunha (100% BDA)64
- Figura 6 - Produção e termoestabilidade de metabólitos produzido pelos isolados de S2548 (A) e S2545 (B) contra *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*, in vitro, na concentração de 10% ao terceiro dia da multiplicação. Test – Testemunha (100% BDA)64
- Figura 7 - Efeito dos isolados de *Bacillus* spp. na altura, área foliar, índice SPAD, diâmetro e pesos frescos e secos de parte aérea e raiz na cultivar IMA 7501 WS, aos 80 dias. Teste de Tukey ($P \leq 0,05$ probabilidade)69
- Figura 8 - Efeito dos isolados de *Bacillus* spp. na altura, área foliar, índice SPAD, diâmetro e pesos frescos e secos de parte aérea e raiz na cultivar FM 975 WS, aos 80 dias. Teste de Tukey ($P \leq 0,05$ probabilidade)70
- Figura 9 - Algodoeiros tratados com isolados de *Bacillus*, separadamente ou em mistura, desenvolvidos em rizotrons, aos 54 dias após semeadura. 1- Testemunha. 2- AP03. 3- S2545. 4- S2527. 5- AP03+S2545. 6- AP03+S2527. 7- S2545+S2527. 8- Quartzo®72

- Figura 10 - Efeitos de espécies de *Bacillus*, separadamente ou em mistura, na cultivar de algodão FM 975 WS aos 50 dias após sementeira desenvolvidos em rizotrons. A – Altura (cm). B – Área foliar (cm²). C- Diâmetro (mm). D- Comprimento de raízes (cm). E- Peso fresco da raiz (g)..... 73
- Figura 11 - Colonização *in vitro* de raízes de algodão variedade FM 975 WS por espécies de *Bacillus*. A- Testemunha. B- S2527.C- S2535. D- S2538. E- S2545. F- S2573. G- AP 03. H- AP 115. I- AP 117. J- AP 210. K- QST 713. L- Quartzo®. Setas vermelhas indicam o crescimento bacteriano. 75
- Figura 12 - Isolados de *Bacillus* que não apresentaram colonização *in vitro* de raízes. A- Testemunha. B- S2543. C- S2564. D- S2569 76
- Figura 13 - Efeitos *in vivo* de isolados de *Bacillus* na cultivar de algodão FM 975 WS aos 100 dias após sementeira desenvolvidas em substratos infestados com *Meloidogyne incognita* raças 3 e 4. A – Diâmetro(mm). B – Altura (cm). C- Peso seco foliar (g). D- Peso fresco da raiz (g)..... 82
- Figura 14 - Efeitos *in vivo* de espécies de *Bacillus* sob o número de ovos de *Meloidogyne incognita* raça 3 e 4 na cultivar de algodão FM 975 WS, aos 100 dias..... '83
- Figura 15 - Efeito de isolados de *Bacillus* no desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo sem infestação de *Fusarium* e sem inoculação de nematoides, aos 60 dias após sementeira. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S2527 85
- Figura 16 - Efeito de isolados de *Bacillus* na altura (cm) - A; área foliar (cm²) – B; índice SPAD – C; peso fresco e seco (g) da parte aérea – DF – e do sistema 86
- Figura 17 - Efeito de isolados de *Bacillus* no desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo sem infestação de *Fusarium* e sem inoculação de nematoides, aos 120 dias após sementeira. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S2527 87

- Figura 18 - Efeito de isolados de Bacillus na altura (cm) - A; peso fresco e seco (g) da parte aérea – BC – e do sistema radicular – DE de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo sem infestação de Fusarium e sem inoculação de nematoides, aos 120 dias após semeadura. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S252788
- Figura 19 - Efeito de isolados de Bacillus no desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo infestado com Fusarium e sem inoculação de nematoides, aos 60 dias após semeadura. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S252790
- Figura 20 - Efeito de isolados de Bacillus na altura (cm) - A; área foliar (cm²) – B; índice SPAD – C; peso fresco e seco (g) da parte aérea – DF – e do sistema radicular – EG de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo infestado com Fusarium e sem inoculação de nematoides, aos 60 dias após semeadura. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S252791
- Figura 21 - Efeito de isolados de Bacillus no desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo infestado com Fusarium e sem inoculação de nematoides, aos 120 dias após semeadura. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S252792
- Figura 22 - Efeito de isolados de Bacillus na altura (cm) - A; peso fresco e seco (g) da parte aérea – BC – e do sistema radicular – DE de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo infestado com Fusarium e sem inoculação de nematoides, aos 120 dias após semeadura. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S252793
- Figura 23 - Efeito de isolados de Bacillus no desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo com inoculação de nematoides mas sem infestação de

Fusarium, aos 60 dias após sementeira. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S2527 95

Figura 24 - Efeito de isolados de Bacillus na altura (cm) - A; área foliar (cm²) - B; índice SPAD - C; peso fresco e seco (g) da parte aérea - DF - e do sistema radicular - E e número de ovos de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo com inoculação de nematoides e sem infestação de Fusarium, aos 60 dias após sementeira. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S2527 96

Figura 25 - Efeito de isolados de Bacillus no desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo com inoculação de nematoides mas sem infestação de Fusarium, aos 120 dias após sementeira. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S2527 98

Figura 26 - Efeito de isolados de Bacillus na altura (cm) - A; pesos frescos e secos (g) da parte aérea e do sistema radicular - BCD e número de ovos (E) de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em inoculadas com nematoides, mas sem infestação com Fusarium, aos 60 dias após sementeira. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S2527 99

Figura 27 - Efeito de isolados de Bacillus sob a parte aérea e as raízes de plantas de algodão cultivar FM975WS, aos 60 dias após sementeira, cultivadas em solo com infestação de Fusarium e inoculação de nematoides. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S2527 101

Figura 28 - Efeito de isolados de Bacillus na altura (cm) - A; área foliar (cm²) - B; no índice SPAD - C; nos pesos (g) frescos e secos da parte aérea (DF) e do sistema radicular (E) e no número de ovos (G) de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo infestado com Fusarium e com inoculação de nematoides, aos 60 dias após sementeira. 1- Testemunha, 2- Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S2527 102

Figura 29 - Efeito de isolados de Bacillus no desenvolvimento da parte aérea e do sistema radicular de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo infestado com Fusarium e com inoculação de nematoides, aos 120 dias após sementeira. 1- Testemunha, 2 Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S2527 104

Figura 30 - Efeito de isolados de Bacillus na altura (cm) – A; nos pesos (g) frescos e secos da parte aérea (BD) e do sistema radicular (C) e no número de ovos (E) de plantas de algodão cultivar FM975WS, cultivadas em solo infestado com Fusarium e com inoculação de nematoides, aos 120 dias após sementeira. 1- Testemunha, 2 Rugby®, 3- Quartzo®, 4- AP03, 5- S2545, 6- S2527, 7- AP03+S2545, 8- AP03+S2527, 9- S2545+S2527 105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção de ácido indolacético – AIA; ácido cianídrico – HCN; assimilação de nitrogênio – AN; catalase – CAT; sideróforos SID e solubilização de fosfato - SP por isolados de <i>Bacillus</i> spp.....	55
Tabela 2 - Formação de halos de inibição por isolados de <i>Bacillus</i> contra <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>vasunfectum</i> , in vitro	57
Tabela 3 - Inibição da germinação de esporos de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>vasinfectum</i> por <i>Bacillus</i> spp	59
Tabela 4 - Efeito da concentração e dos dias de multiplicação dos metabólitos de <i>Bacillus</i> spp. sobre o crescimento micelial de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Vasinfectum</i>	60
Tabela 5 - Efeito dos isolados de <i>Bacillus</i> spp. na altura, comprimento de raízes e pesos frescos e secos de parte aérea e raiz na cultivar IMA 6501B2FR, aos 15 dias	65
Tabela 6 - Efeito dos isolados de <i>Bacillus</i> spp. na altura, comprimento de raízes e pesos frescos e secos de parte aérea e raiz na cultivar IMA 7201B2FR, aos 15 dias	66
Tabela 7 - Efeito de isolados de <i>Bacillus</i> spp. na altura, comprimento de raízes e pesos frescos e secos de parte aérea e raiz na cultivar IMA 7501 WS, aos 15 dias.....	67
Tabela 8 - Efeito de metabólitos de <i>Bacillus</i> na mortalidade de juvenis de segundo estágio (J2) a <i>Meloidogyne incognita</i> raças 3 e 4, na concentração de 20%	77
Tabela 9 - Efeito de metabólitos de <i>Bacillus</i> na mortalidade de juvenis de segundo estágio (J2) a <i>Meloidogyne incognita</i> raças 3 e 4, na concentração de 16%	78
Tabela 10 - Porcentagem de eclosão de juvenis de segundo estágio (J2) de <i>Meloidogyne incognita</i> aos 7, 14, 21 e 28 dias, e área abaixo da curva de progresso da eclosão (AACPE) sob efeito de espécies de <i>Bacillus</i> spp.....	80

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	23
2	REVISÃO DE LITERATURA	25
2.1	A CULTURA DO ALGODÃO	25
2.2	MURCHA DE <i>FUSARIUM</i> DO ALGODOEIRO	26
2.3	<i>MELOIDOGYNE INCOGNITA</i> EM ALGODOEIRO	27
2.4	CONTROLE DE <i>MELOIDOGYNE</i> E <i>FUSARIUM</i>	29
2.5	O GÊNERO <i>BACILLUS</i>	31
2.6	<i>BACILLUS</i> SPP. COMO AGENTES DE BIOCONTROLE DE DOENÇAS DE PLANTAS	31
2.7	MECANISMOS DE AÇÃO DE <i>BACILLUS</i> SPP.	32
2.8	<i>BACILLUS</i> SPP. COMO PROMOTOR DE CRESCIMENTO	36
3	MATERIAL E MÉTODOS	38
3.1	OBTENÇÃO DE ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i>	38
3.2	PRODUÇÃO DE ÁCIDO CIANÍDRICO, ÁCIDO INDOLACÉTICO, SIDERÓFOROS, CATALASE, SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATO E ASSIMILAÇÃO DE NITROGÊNIO POR ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i> SPP.	38
3.3	INIBIÇÃO DO CRESCIMENTO MICELIAL DE <i>FUSARIUM OXYSPOURUM</i> F. SP. <i>VASINFECTUM</i> POR ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i> SPP.	40
3.4	ESTUDO DA INIBIÇÃO DA GERMINAÇÃO DE ESPOROS DE <i>FUSARIUM</i>	41
3.5	AVALIACÃO DA PRODUÇÃO E TERMOESTABILIDADE DE METABÓLITOS PRODUZIDOS POR <i>BACILLUS</i> SPP. <i>IN VITRO</i> CONTRA <i>FOV</i>	41
3.6	PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE ALGODOEIRO POR <i>BACILLUS</i> SPP, <i>IN VIVO</i>	42
3.7	EFEITO DA APLICAÇÃO DE ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i> SPP. INDIVIDUALMENTE E EM MISTURA NA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE PLANTAS DE ALGODÃO EM RIZOTRONS	44
3.8	COLONIZAÇÃO DE RAÍZES DE ALGODÃO POR <i>BACILLUS</i> SPP.	44
3.9	CONTROLE <i>IN VIVO</i> DA MURCHA DE <i>FUSARIUM</i> POR <i>BACILLUS</i> SPP., SOB CULTIVO PROTEGIDO	45
3.10	MANUTENÇÃO DA POPULAÇÃO DE <i>MELOIDOGYNE INCOGNITA</i> RAÇAS 3 E 4	46

3.11	EFEITO DE ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i> SOBRE A MORTALIDADE DE JUVENIS DE SEGUNDO ESTÁGIO (J2) DE <i>M. INCOGNITA</i> RAÇA 3 E 4 <i>IN VITRO</i>	47
3.12	SELEÇÃO DE ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i> COM METABÓLITOS TERMOESTÁVEIS TÓXICOS A <i>M. INCOGNITA</i> RAÇAS 3 E 4 <i>IN VITRO</i>	48
3.13	EFEITO DE <i>BACILLUS</i> SPP. SOBRE A ECLOSÃO DE JUVENIS DE <i>M. INCOGNITA</i> RAÇA 3	48
3.14	SELEÇÃO DE ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i> SPP. ANTAGÔNICOS A <i>M. INCOGNITA</i> RAÇAS 3 E 4 <i>IN VIVO</i>	49
3.15	CONTROLE <i>IN VIVO</i> DO COMPLEXO <i>FUSARIUM</i> -NEMATOIDE POR <i>BACILLUS</i> SPP., SOB CULTIVO PROTEGIDO	50
3.16	IDENTIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES DE <i>BACILLUS</i> POR SEQUENCIAMENTO DO FRAGMENTO DO GENE 16S rRNA.....	52
4	RESULTADOS	55
4.1	PRODUÇÃO DE ÁCIDO INDOLACÉTICO, ÁCIDO CIANÍDRICO, SIDERÓFOROS E CATALASE; SOLUBILIZAÇÃO DE FOSFATOS E ASSIMILAÇÃO DE NITROGÊNIO POR ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i> SPP.....	55
4.2	INIBIÇÃO DO CRESCIMENTO MICELIAL DE <i>FUSARIUM OXYSPOURUM</i> F. SP. <i>VASINFECTUM</i> POR ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i>	56
4.3	ESTUDO DA INIBIÇÃO DA GERMINAÇÃO DE ESPOROS DE <i>FUSARIUM</i>	58
4.4	TERMOESTABILIDADE DE METABÓLITOS PRODUZIDOS POR <i>BACILLUS</i> SPP. <i>IN VITRO</i> .	59
4.5	PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE ALGODOEIRO POR <i>BACILLUS</i> SPP.	64
4.5.1	Avaliação da promoção de crescimento após 15 dias da semeadura	64
4.6	EFEITO DA APLICAÇÃO DE ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i> SPP. INDIVIDUALMENTE E EM MISTURA NA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE PLANTAS DE ALGODÃO EM RIZOTRONS	71
4.7	COLONIZAÇÃO DE RAÍZES DE ALGODÃO POR <i>BACILLUS</i> SPP.	74
4.8	CONTROLE <i>IN VIVO</i> DA MURCHA DE <i>FUSARIUM</i> POR <i>BACILLUS</i> SPP.	76
4.9	EFEITO DE ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i> SOBRE A MORTALIDADE DE JUVENIS DE SEGUNDO ESTÁGIO (J2).....	76

4.10	SELEÇÃO DE ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i> COM METABÓLITOS TERMOESTÁVEIS TÓXICOS A <i>M. INCOGNITA</i> RAÇAS 3 E 4, <i>IN VITRO</i>	78
4.11	EFEITO DE <i>BACILLUS</i> SPP. SOBRE A ECLOSÃO DE JUVENIS DE <i>M. INCOGNITA</i> RAÇA 3	78
4.12	SELEÇÃO DE ISOLADOS DE <i>BACILLUS</i> SPP. ANTAGÔNICOS A <i>M. INCOGNITA</i> RAÇAS 3 E 4 <i>IN VIVO</i>	81
4.13	CONTROLE <i>IN VIVO</i> DO COMPLEXO <i>FUSARIUM</i> -NEMATOIDE POR <i>BACILLUS</i> SPP., SOB CULTIVO PROTEGIDO.....	83
4.14	IDENTIFICAÇÃO DAS ESPÉCIES DE <i>BACILLUS</i> POR SEQUENCIAMENTO DO FRAGMENTO DO GENE 16S rRNA	106
5	DISCUSSÃO	108
6	CONCLUSÃO	114
	REFERÊNCIAS.....	115

1 INTRODUÇÃO

O algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.) é considerado mundialmente uma das mais importantes culturas de fibras. No mundo, são plantados cerca de 35 milhões de hectares ao ano (ABRAPA, 2021) resultando numa produção em torno de 26,5 milhões de toneladas (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2021).

Nos últimos anos houve aumento em produtividade da cultura em razão dos avanços genéticos e melhorias do sistema de produção, mas essa produtividade não é maior em razão da ocorrência de pragas e doenças que acometem a cultura.

As condições edafoclimáticas das regiões produtoras como altas temperaturas, veranicos, solos arenosos na sua maioria e a suscetibilidade das cultivares às doenças levaram ao aumento dos custos de controle. Essa situação resultou no aumento do uso dos insumos químicos com conseqüente aumento nos custos de produção (FREIRE, 2007; BORÉM; FREIRE, 2014).

Fusarium oxysporum f. sp. *vasinfectum* e *Meloidogyne incognita* raças 3 e 4 causam grandes perdas de produtividade e em alguns casos inviabilizam a produção (CIA; GALBIERI, 2016; XIANG et al., 2017; XIANG; LAWRENCE; DONALD, 2018) . Estes dois fitopatógenos podem ocorrer concomitantemente, formando o complexo *Fusarium*-nematóide (Fus-nem), com maior poder destrutivo comparado com a ocorrência isolada de ambos. Esses patógenos têm a capacidade de sobreviver por longos períodos no solo, sem a presença de seu hospedeiro principal. Além disso, *M. incognita* possui uma ampla gama de hospedeiros, dificultando a adoção de métodos de controle eficientes a ambos os fitopatógenos.

O aumento de focos e de glebas infectadas tem gerado preocupação para produtores do setor. A preocupação é justificada devido ao alto potencial destrutivo desses patógenos, aliado à dificuldade em eliminá-los da área. Após a introdução é preciso conviver com estes fitopatógenos e reduzir os danos na cultura, principalmente, mediante o uso de cultivares resistentes e rotação de culturas. Entretanto, muitas cultivares de algodão, com alto desempenho agrônômico, não possuem resistência genética em níveis adequados. Além disso, a rotação de culturas também não é realizada por muitos produtores. Devido a esses aspectos está ocorrendo aumento do potencial de inóculo dos fitopatógenos ano após ano conduzindo ao maior uso de nematicidas e fungicidas para garantir altas produtividades. O uso desses produtos para o controle de fitopatógenos de solo

apresenta riscos de contaminação ambiental, deterioração da saúde dos trabalhadores rurais, seleção de patógenos resistentes aos princípios ativos e elevação dos custos de produção (RAUT; DALVI; MANWAR, 2011), havendo necessidade de se encontrar alternativas economicamente mais vantajosas para o agricultor e menos agressivas ao meio ambiente.

O controle biológico tem sido apontado como um método seguro e uma alternativa sustentável para o manejo de patógenos de solo, apresentando vantagens em relação ao controle químico. Dentre os potenciais agentes de biocontrole, destaca-se uma ampla gama de bactérias da rizosfera com efeito antagônico a fungos e nematoides (LIU et al., 2017; MACHADO et al., 2012; RAO et al., 2017; TIAN; YANG; ZHANG, 2007). As bactérias de maior destaque com potencial para controle biológico pertencem ao gênero *Bacillus*. *Bacillus* possuem a capacidade de sobreviver na rizosfera, colonizar as raízes das plantas e apresentam vários benefícios às culturas, tais como: promoção de crescimento de plantas, disponibilização de nutrientes e hormônios vegetais, proteção contra patógenos e indução de resistência a estresses bióticos e abióticos.

As perdas causadas por *F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum* e *M. incognita* em algodoeiro são preocupantes, sobretudo quando estes agem em interação, podendo atingir mais de 40% da produção. O controle dessas doenças é difícil e oneroso, sendo que em média são gastos US\$120 milhões anualmente, o que equivale em torno de 25% do custo de produção (COX et al., 2019; NCC, 2018). Desta forma, o desenvolvimento de produtos à base de *Bacillus* têm um grande potencial de mercado e poderá colaborar com a constituição de empresas visando a disponibilização desses produtos no mercado brasileiro. Além disso, poderá disponibilizar aos agricultores uma tecnologia de menor impacto no ambiente.

Os objetivos do estudo foram selecionar e caracterizar isolados de *Bacillus* antagônicos a *F. oxysporum* f. sp. *vasinfectum* e *M. incognita*; avaliar o potencial de *Bacillus* spp. em controlar os dois patógenos inoculados simultaneamente, bem como selecionar isolados promotores de crescimento das plantas; e identificar os isolados de *Bacillus* selecionados.

6 CONCLUSÃO

Os isolados de *Bacillus* apresentaram atividade antagônica *in vitro* a *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* e a *Meloidogyne incognita*.

Em ensaios *in vivo*, os isolados de *Bacillus* selecionados reduziram o número de ovos por planta, controlando *Meloidogyne incognita*.

Os isolados selecionados, *in vivo*, controlaram a murcha de *Fusarium* e *Meloidogyne incognita* quando estes patógenos ocorreram simultaneamente.

A mistura de isolados de *Bacillus* apresentou resultados promissores neste trabalho para o controle dos fitopatógenos.

Em rizotrons os isolados de *Bacillus* selecionados e suas misturas promoveram o crescimento de plantas de algodão.

Todos os isolados selecionados foram identificados como *Bacillus velezensis*.

Os isolados de *Bacillus* selecionados têm potencial para serem promissores agentes de biocontrole de fitopatógenos de solo, podendo ser alternativas aos produtos químicos.

REFERÊNCIAS

- ABAD, P. et al. Root-knot nematode parasitism and host response: Molecular basis of a sophisticated interaction. **Molecular Plant Pathology**, v. 4, n. 4, p. 217–224, 2003.
- ABRAPA, **Associação Brasileira dos Produtores de Algodão**, Brasília, 2021. Estatísticas: Mundo Disponível em:<
<http://www.abrapa.com.br/biblioteca/Paginas/Biblioteca.aspx>>. Acesso 04/01/2021.
- ADREES, H. et al. Inducing systemic resistance in cotton plants against charcoal root rot pathogen using indigenous rhizospheric bacterial strains and chemical elicitors. **Crop Protection**, v. 115, n. February 2018, p. 75–83, 2019.
- AGROFIT. **Sistemas de agrotóxicos fitossanitários**. Disponível em:
http://agrofit.agricultura.gov.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons. Acesso 06/01/2021.
- AKRAM, W.; ANJUM, T.; ALI, B. Phenylacetic acid is ISR determinant produced by *Bacillus fortis* IAGS162, which involves extensive re-modulation in metabolomics of tomato to protect against Fusarium wilt. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. APR2016, p. 1–12, 2016.
- ALVES, G. C. S. et al. Avaliação *in vitro* do efeito de rizobactérias sobre *Meloidogyne incognita*, *M. javanica* e *Pratylenchus zaei*. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 78, n. 4, p. 557–564, 2011.
- AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M.; BERGAMIN FILHO, A. **Manual de Fitopatologia**. Piracicaba: Agronômica Ceres. v.1, ed.4, 704p. 2011.
- AMORIM, S. et al. **Zoneamento agroecológico e definição de época de semeadura do algodoeiro no Brasil** Agroecological Zoning and definition of sowing periods for cotton in Brazil. p. 422–428, 2001.
- ARMSTRONG, G. M.; ARMSTRONG, J. K. A new race (race 6) of the cotton-wilt fusarium from Brazil. **Plant Disease Reporter**, v.62, n.5, p.421-423,1978.
- ASSIGBETSE, K. et al. Differentiation of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* races on Cotton by Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD) Analysis. **Phytopathology**, 1994.
- BAIS, H. P.; FALL, R.; VIVANCO, J. M. Biocontrol of *Bacillus subtilis* against infection of *Arabidopsis* roots by *Pseudomonas syringae* is facilitated by biofilm formation and surfactin production. **Plant Physiology**, v. 134, n. 1, p. 307–319, 2004.
- BAKER, K.; RAMSDELL, D.; GILLET, J. Electron microscopy: current applications to plant virology. **Plant Disease** v.69, p.85-90, 1985.
- BAKKER, A. W.; SCHIPPERS, B. Microbial cyanide production in the rhizosphere in relation to potato yield reduction and *Pseudomonas* spp-mediated plant growth-

stimulation. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 19, n. 4, p. 451–457, 1987.

BALDERAS-RUIZ, K. A. et al. *Bacillus velezensis* 83 a bacterial strain from mango phyllosphere, useful for biological control and plant growth promotion. **AMB Express**, v. 10, n. 1, 2020.

BECERRA LOPEZ-LAVALLE, L. A.; POTTER, N.; BRUBAKER, C. L. Development of a rapid, accurate glasshouse bioassay for assessing *fusarium* wilt disease responses in cultivated *Gossypium* species. **Plant Pathology**, v. 61, n. 6, p. 1112–1120, 2012.

BERLITZ, D. L. et al. Evaluation of biocontrol of the *Meloidogyne javanica* with *Bacillus subtilis* and *Purpureocillium lilacinus* in greenhouse with lettuce. **International Journal of Research in Engineering**, v. 452, n. August, p. 38–45, 2016.

BETTIOL, W. **Seleção de microrganismos antagônicos a *P. oryzae* para o controle da Brusone do arroz (*Oryza sativa* L.)** Piracicaba, 140p. Tese (Doutorado em Fitopatologia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo, 1988.

BETTIOL, W., BRANDÃO, M. S. B., SAITO, M. L. Controle da ferrugem do feijoeiro com extratos e células formuladas de *Bacillus subtilis*. **Summa Phytopathologica**. v.18, p.153-159, 1992.

BETTIOL, W.; SAITO, M. L.; BRANDÃO, M. S. B. Controle da ferrugem do cafeeiro com produtos à base de *Bacillus subtilis*. **Summa Phytopathologica**. v. 20, p.119-123, 1994.

BETTIOL, W.; VARZEA, V. Controle biológico da ferrugem (*Hemileia vastarix*) do cafeeiro com *Bacillus subtilis* em condições controladas. **Fitopatologia Brasileira**, v. 17, n. 1, p. 91–95, 1992.

BHATTACHARYA, A. et al. Intervention of bio-protective endophyte *Bacillus tequilensis* enhance physiological strength of tomato during *Fusarium* wilt infection. **Biological Control**, v. 139, n. August, p. 104074, 2019.

BONETI, J. I. S.; FERRAZ, S. Modificação do método de Hussey e Barker para extração de ovos de *Meloidogyne incognita* de raízes de cafeeiros. **Fitopatologia Brasileira**, v.6, p.553, 1981.

BORÉM, A.; FREIRE, E. C. Algodão do plantio à colheita. Ed, UFV. Viçosa.
BRIDGE, J. Nematodes. In: HILLOCKS, R.J. **Cotton Disease**. CAB International, UK. O. p.331-353, 2014.

BRIC, J. M.; BOSTOCK, R. M.; SILVERSTONE, S. E. Rapid in situ assay for indoleacetic acid production by bacteria immobilized on a nitrocellulose membrane. **Applied and Environmental Microbiology**, v.57, p.535-538, 1991.

BURKETT-CADENA, M. et al. Suppressiveness of root-knot nematodes mediated by

rhizobacteria. **Biological Control**, v. 47, n. 1, p. 55–59, 2008.

CAMPBELL, C. L.; MADDEN, L. V. **Introduction to plant disease epidemiology**. New York: J. Wiley, 1990. 532 p.

CASSETARI NETO, D.; MACHADO, A. Q. **Doenças do algodoeiro diagnose e controle**. Várzea Grande: UNIVAG/UFMT, 2005. 47p.

CAWOY, H. et al. *Bacillus* based biological control. **Embrapa Meio Ambiente**, v. 1849, n. 2004, p. 30, 2009.

CAWOY, H. et al. Lipopeptides as main ingredients for inhibition of fungal phytopathogens by *Bacillus subtilis/amyloliquefaciens*. **Microbial Biotechnology**, v. 8, n. 2, p. 281–295, 2015.

COX, K. L. et al. Return of old foes — recurrence of bacterial blight and Fusarium wilt of cotton. *Current Opinion in Plant Biology*, v. 50, p. 95–103, 2019.

CHI, M. et al. Increase in antioxidant enzyme activity, stress tolerance and biocontrol efficacy of *Pichia kudriavzevii* with the transition from a yeast-like to biofilm morphology. **Biological Control**, v. 90, p. 113–119, 2015.

CHOI, T. G. et al. Role of bacterial antagonists of fungal pathogens, *Bacillus thuringiensis* KYC and *Bacillus velezensis* CE 100 in control of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* and subsequent growth promotion of tomato. **Biocontrol Science and Technology**, v. 30, n. 7, p. 685–700, 2020.

CIA, E. et al. Desenvolvimento de resistência múltipla a doenças em linhagens avançadas de algodoeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v. 28, n. 4, p. 420–423, 2003.

CIA, E. Ocorrência e conhecimento das doenças de algodoeiro annual *Gossypium hirsutum* L. no Brasil. **Summa Phytopatologica**, v.3, n.3, p.167-193, 1977.

CIA, E.; GALBIERI, R. Doenças do algodoeiro. In: Amorim, L; Resende, J. A. M., Bergamim Filho, A.; Camargo, L.E.A. (5 Ed). **Manual de Fitopatologia: Doenças de plantas cultivadas**. São Paulo: Ceres. v.2, p.41- 52, 2016.

COLAGIERO, M.; ROSSO, L. C.; CIANCIO, A. Diversity and biocontrol potential of bacterial consortia associated to root-knot nematodes. **Biological Control**, v. 120, p. 11–16, 2018.

CONRATH, U. et al. Priming for Enhanced Defense. **Annual Review of Phytopathology**, v. 53, p. 97–119, 2015.

CROWLEY, D. E. Microbial siderophores in the plant rhizosphere. In: Barton LL, Abadía J (eds) **Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms**. Springer, Netherlands, p. 169–198, 2006.

DA SILVA, M. B. et al. Fusarium wilt of cotton may commonly result from the interaction of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* with *Belonolaimus*

longicaudatus. **Journal of Nematology**, v. 51, n. 1, p. 1–10, 2019.

DASGUPTA, S. M.; KHAN, N.; NAUTIYAL, C. S. Biologic control ability of plant growth-promoting *Paenibacillus lentimorbus* NRRL B-30488 isolated from milk. **Current Microbiology**, v. 53, n. 6, p. 502–505, 2006.

DAVIS, R. M. et al. Fusarium wilt of cotton: Population diversity and implications for management. **Plant Disease**, v. 90, n. 6, p. 692–703, 2006.

DE CAL, A. et al. Biological control of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. **Plant Pathology**, v. 44, n. 5, p. 909–917, 1995.

DETZ, E. A.; STINTZI, A.; RAYMOND, K. N. Siderophore-mediated iron transport in *Bacillus subtilis* and *Corynebacterium glutamicum*. **Journal of Biological Inorganic Chemistry**, v. 11, n. 8, p. 1087–1097, 2006.

DIAZ, P. A. E.; BARON, N. C.; RIGOBELLO, E. C. *Bacillus* spp. as plant growth-promoting bacteria in cotton under greenhouse conditions. **Australian Journal of Crop Science**, v. 13, n. 12, p. 2003–2014, 2019.

DING, Y. et al. Isolation and identification of nitrogen-fixing bacilli from plant rhizospheres in Beijing region. **Journal of Applied Microbiology**, v. 99, n. 5, p. 1271–1281, 2005.

DÖBEREINER, J.; BALDANI, V. L. D.; BALDANI, J. I. Como isolar e identificar bactérias diazotróficas de plantas não leguminosas. Brasília, DF: Embrapa-SPI; Itaguaí: **Embrapa-CNPAB**, 1995. 60 p.

DORIGHELLO, D. V. et al. Controlling Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) with *Bacillus* spp. and coffee oil. **Crop Protection**, v. 67, p. 59–65, 2015.

DORIGHELLO, D. V. **VERSATILIDADE DE *Bacillus* spp. NO CONTROLE BIOLÓGICO DE DOENÇAS DE PLANTAS E NA PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO DE SOJA**. 2017. 135p. (Tese de Doutorado). Programa de Pós Graduação em Agronomia / Proteção de Plantas. Universidade Estadual Paulista (UNESP/FCA). Botucatu

EARL, A. M.; LOSICK, R.; KOLTER, R. Ecology and genomics of *Bacillus subtilis*. **Trends in Microbiology**, v. 16, n. 6, p. 269–275, 2008.

EL-SHENNawy, M. Z. et al. Biological control of the disease complex on potato caused by root-knot nematode and Fusarium wilt fungus. **Nematologia Mediterranea**, v. 40, n. 2, p. 169–172, 2012.

EMMERT, E. A. ; HANDELSMAN, J. Biocontrol of plant disease: a (Gram-) positive perspective. **FEMS Microbiology Letters**, v. 171, n. 1, p. 1–9, 1999.

ENGELBRECHT, G. et al. In vitro bioassays to determine the effect of *Bacillus soli* filtrates on the paralysis of *Meloidogyne incognita* second-stage juveniles. **Nematology**, v. 22, n. 2, p. 239–243, 2020.

- EUZÉBY, J.P. List of bacterial names with standing in nomenclature: a folder available on the Internet. **International Journal of Systematic Bacteriology**, v.47, p.590-592, 1997.
- FERRAZ, S. et al. **Manejo Sustentável de Fitonematoides**. 1 ed. Viçosa, MG. Ed. UFV, 304p., 2010.
- FLEGG, J. J. M. Extraction of *Xithinema* and *Longidorus* species from soil by a modification of Cobb's decanting and sieving technique. **Annual Applied Biology**. v.60, p.429-437, 1967.
- FONTES, E. M. G.; RAMALHO, F. S.; UNDERWOOD, E. et al. The cotton agriculture context in Brazil. In: HILBECK A.; ANDOW D. A.; FONTES E. M. G. **Environmental risk assessment of genetically modified organisms: methodologies for assessing Bt cotton in Brazil**. Oxfordshire: CABI Publishing, 2006. p.133-154.
- FREIRE, E. F. **Algodão no Cerrado do Brasil**. Brasília: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. Gráfica e Editora Positiva. Brasília. 2007.
- GALBIERI, R. et al. Desempenho de genótipos de algodoeiro na presença ou não de rotação de cultura com *Crotalaria spectabilis*, em área infestada com *Meloidogyne incognita*. **Tropical Plant Pathology**, v. 36, n. 5, p. 303-307, 2011.
- GALBIERI, R.; ASMUS, G. L. Principais espécies de nematoides do algodoeiro no Brasil. In: GALBIERI, R.; BELOT, J. L. (Eds.) **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle**. Instituto Mato-grossense do Algodão – IMAmt, Cuiabá, Brasil, pp. 11-36, 2016.
- GALBIERI, R. et al. Influência de parâmetros de solo na ocorrência de fitonematoides. In: GALBIERI, R.; BELOT, J. L. (Eds) **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle**. Instituto Mato-grossense do Algodão – IMAmt, Cuiabá, Brasil, p. 37-89, 2016.
- GORDON, S. A.; WEBER, R. P. Colorimetric of indoleacetic acid. **Plant Physiology**, v. 26, p. 192-195., 1951.
- GORDON, D.; ABAJIAN, C.; GREEN, P. Consed: A graphical tool for sequence finishing. **Genome Research**, v. 8, n. 3, p. 195–202, 1998.
- GRIMES, D. W.; CARTER, L. M. A linear rule for direct non destructive leaf area measurements. **Agronomy Journal**, v.61, p.477-479, 1969.
- HADDAD, F. et al. Biological control of coffee rust by antagonistic bacteria under field conditions in Brazil. **Biological Control**, v. 49, n. 2, p. 114–119, 2009.
- HILLOCKS, R.J. Fusarium wilt. In: HILLOCKS, R.J. (Ed.). **Cotton diseases**. Wallington: CAB International, c. 4, p. 127-160. 1992.
- HUANG, Y. et al. Characterisation of volatiles produced from *Bacillus megaterium*

YFM3.25 and their nematicidal activity against *Meloidogyne incognita*. **European Journal of Plant Pathology**, v. 126, n. 3, p. 417–422, 2010.

HYER, A.H. et al. Resistance to root knot nematode in control of root-knot nematode-fusarium wilt disease complex in cotton. **Crop Science**. v.19, p. 898-901, 1974.

IYER, P. V.; ANANTHANARAYAN, L. Enzyme stability and stabilization-aqueous and non-aqueous environment. **Process Biochemistry**, v. 43, n. 10, p. 1019–1032, 2008.

JHA, D. C.; SARAF, M. Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR): a review. **Journal of Agricultural Research and Development**, v. 5, n. 2, p. 0108–0119, 2015.

KAMAL, M. M. et al. Biology and biocontrol of *Sclerotinia sclerotiorum* (Lib.) de Bary in oilseed Brassicas. **Australasian Plant Pathology**, v. 45, n. 1, p. 1–14, 2016.

KAMEI, A.; DOLAI, A. K.; KAMEI, A. Role of Hydrogen Cyanide Secondary Metabolite of Plant Growth Promoting Rhizobacteria as Biopesticides of Weeds. **Global Journal of Science Frontier Research: D Agriculture and Veterinary**, v. 14, n. 6, p. 109–112, 2014.

KANG, S. M. et al. Phosphate Solubilizing *Bacillus megaterium* mj1212 Regulates Endogenous Plant Carbohydrates and Amino Acids Contents to Promote Mustard Plant Growth. **Indian Journal of Microbiology**, v. 54, n. 4, p. 427–433, 2014.

KAVITHA, J.; JONATHAN, E. I.; UMAMAHESWARI, R. Field application of *Pseudomonas fluorescens*, *Bacillus subtilis* and *Trichoderma viride* for the control of *Meloidogyne incognita* (Kofoid and White) Chitwood on sugarbeet. **Journal of Biological Control**, v. 21, n. 2, p. 211–215, 2007.

KHAN, M. R.; KOUNSAR, K.; HAMID, A. Effect of certain rhizobacteria and antagonistic fungi on root-modulation and root-knot nematode disease of green gram. **Nematologia Mediterranea**, v. 30, n. 1, p. 85–89, 2002.

KHAN, N.; MAYMON, M.; HIRSCH, A. Combating *Fusarium* infection using *Bacillus*-based antimicrobials. **Microorganisms**, v. 5, n. 4, p. 75, 2017.

KIM, Y.; HUTMACHER, R. B.; DAVIS, R. M. Characterization of California isolates of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum*. **Plant Disease**, v. 89, n. 4, p. 366–372, 2005.

KLOEPPER, J. W.; RYU, C. M.; ZHANG, S. Induced systemic resistance and promotion of plant growth by *Bacillus* spp. **Phytopathology**, v. 94, n. 11, p. 1259–1266, 2004.

KLOEPPER, J. W. et al. Rhizosphere bacteria antagonistic to soybean cyst (*Heterodera glycines*) and root-knot (*Meloidogyne incognita*) nematodes: identification by fatty acid analysis and frequency of biological control activity. **Plant Soil** v.139, p.75-84, 1992.

KOENNING, S. R. et al. Plant-parasitic nematodes attacking cotton in the United States: Old and emerging production challenges. **Plant Disease**, v. 88, n. 2, p. 100–113, 2004.

KÖHL, J.; KOLNAAR, R.; RAVENSBERG, W. J. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: Relevance beyond efficacy. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, n. July, p. 1–19, 2019.

KRECHEL, A. et al. Potato-associated bacteria and their antagonistic potential towards plant-pathogenic fungi and the plant-parasitic nematode *Meloidogyne incognita* (Kofoid & White) Chitwood. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 48, n. 9, p. 772–786, 2002.

KULIMUSHI, P. Z. et al. Efficacy of *Bacillus amyloliquefaciens* as biocontrol agent to fight fungal diseases of maize under tropical climates: from lab to field assays in south Kivu. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 30, p. 29808–29821, 2018.

LAMOVŠEK, J.; UREK, G.; TRDAN, S. Biological control of root-knot nematodes (*Meloidogyne* spp.): Microbes against the pests. **Acta Agriculturae Slovenica**, v. 101, n. 2, p. 263–275, 2013.

LANNA-FILHO, R.; FERRO, H. M.; PINHO, R. S. C. DE. Controle biológico mediado por *Bacillus subtilis*. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 4, n. 2, p. 12–20, 2010.

LANE, D. J. 16S/23S rRNA sequencing. In STACKEBRANDT E.; GOODFELLOW, M. (ed.), **Nucleic acid techniques in bacterial systematics**. John Wiley & Sons, New York, p.115-175, 1991.

LEÃO, E. U. et al. Potencial *in vitro* de *Bacillus* spp. no controle de *Curtobacterium flaccumfaciens* pv. *flaccumfaciens* em feijoeiro-comum. **Summa Phytopathologica**. v.42, n.4, p.360-362, 2016.

LEIFERT, C. et al. Antibiotic production and biocontrol activity by *Bacillus subtilis* CL27 and *Bacillus pumilus* CL45. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 78, n. 2, p. 97–108, 1995.

LIU, G. et al. Screening, identification and application of soil bacteria with nematicidal activity against root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) on tomato. **Pest Management Science**, v. 76, n. 6, p. 2217–2224, 2020.

LIU, K. et al. Selection and assessment of plant growth-promoting rhizobacteria for biological control of multiple plant diseases. **Phytopathology**, v. 107, n. 8, p. 928–936, 2017.

LORDELO, L.G.E. **Nematoides das plantas cultivadas**. São Paulo, Nobel, 3^o edição, 196 p., 1976.

- MACHADO, V. et al. Bactérias como agentes de controle biológico de fitonematóides. **Oecologia Australis**, v. 16, n. 2, p. 165–182, 2012.
- MACHADO, A. C. Z. et al. Controle Biológico. In: GALBIERI, R.; BELOT, J. L. (Eds.) **Nematoides fitoparasitas do algodoeiro nos cerrados brasileiros: Biologia e medidas de controle**. Instituto Mato-grossense do Algodão – IMAmt, Cuiabá, Brasil, pp. 11-36, 2016.
- MADIGAN, M. T. et al. **Microbiologia de Brock**. 12 ed., Porto Alegre: Artmed, 2016. 1006 p.
- MARINGONI, A.C. **Técnicas em Fitobacteriologia**. FEPAF, Botucatu - SP, 40 p., 2010.
- MARTINS, S. J. et al. Common bean growth and health promoted by rhizobacteria and the contribution of magnesium to the observed responses. **Applied Soil Ecology**, v. 87, p. 49–55, 2015.
- MATHUR, S. B.; KONGSDAL, O. **Common laboratory seed health testing methods for detecting fungi**. International Seed Testing Association, Copenhagen, Denmark, 2003. 425p.
- MATOS, A. D. M. et al. Phosphate solubilization by endophytic bacteria isolated from banana trees. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 4, p. 2945–2954, 2017.
- MCKINNEY, H. H. Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. **Journal Agricultural Research**. v.26, p.195-219, 1923.
- MENDOZA, A. R.; KIEWNICK, S.; SIKORA, R. A. *In vitro* activity of *Bacillus firmus* against the burrowing nematode *Radopholus similis*, the root-knot nematode *Meloidogyne incognita* and the stem nematode *Ditylenchus dipsaci*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 18, n. 4, p. 377–389, 2008.
- MOHAMMED, S. H. et al. Biocontrol efficiency of *Bacillus thuringiensis* toxins against root-knot nematode, *Meloidogyne incognita*. **Journal of Cell and Molecular Biology**, v. 7, n. 1, p. 57–66, 2008.
- MONNERAT, R. G. et al. Screening of Brazilian *Bacillus thuringiensis* isolates active against *Spodoptera frugiperda*, *Plutella xylostella* and *Anticarsia gemmatilis*. **Biological Control**, v. 41, n. 3, p. 291–295, 2007.
- National Cotton Council of America: **Pest Management** (Internet). 2018.
- NASH, S. M.; SNYDER, W. C. Quantitative estimations by plate counts of propagules of the bean root rot *Fusarium* in field soils. **Phytopathology**. v.52, p.567-572, 1962.
- OLIVEIRA, J. A. **Efeito do tombamento fungicida em sementes no controle de tombamento de plântulas de pepino (*Cucumis sativas* L.) e pimentão**

(*Capsicum annuum* L.). 1991. 111 f. Dissertação (Mestrado em Fitossanidade) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

ONGENA, M.; JACQUES, P. *Bacillus* lipopeptides: versatile weapons for plant disease biocontrol. **Trends in Microbiology**, v. 16, n. 3, p. 115–125, 2008.

OOSTENBRINK, M. Major characteristics of the relation between nematodes and plants. **Mendelingen Landbouwhogeschool Wageningen**. v.66, p.1-46, 1966.

PADGHAM, J. L.; SIKORA, R. A. Biological control potential and modes of action of *Bacillus megaterium* against *Meloidogyne graminicola* on rice. **Crop Protection**, v. 26, n. 7, p. 971–977, 2007.

PAZ, I. C. P. et al. Biocontrol of *Botrytis cinerea* and *Calonectria gracilis* by eucalypts growth promoters *Bacillus* spp. **Microbial Pathogenesis**, v. 121, p. 106–109, 2018.

PENG, D. et al. Integrated biological and chemical control of rice sheath blight by *Bacillus subtilis* NJ-18 and jinggangmycin. **Pest Management Science**, v. 70, n. 2, p. 258–263, 2014.

PIETERSE, C. M. J. et al. Induced systemic resistance by beneficial microbes. **Annual Review of Phytopathology**, v. 52, p. 347–375, 2014.

PINDI, P. K.; SULTANA, T.; VOOTLA, P. K. Plant growth regulation of Bt-cotton through *Bacillus* species. **3 Biotech**, v. 4, n. 3, p. 305–315, 2014.

PLANCHON, A. et al. Effect of a *Bacillus subtilis* strain on flax protection against *Fusarium oxysporum* and its impact on the root and stem cell walls. **Plant Cell and Environment**, v. 44, n. 1, p. 304–322, 2021.

QIUHONG, N. et al. *Bacillus* sp. B16 kills nematodes with a serine protease identified as a pathogenic factor. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 69, n. 6, p. 722–730, 2006.

QUECINE, M. C. **Aspectos biotecnológicos da interação entre bactérias e cana-de-açúcar (*Saccharum* sp)**. 2010. 197p. Tese (Doutorado), Programa de Pós Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba.

RAAIJMAKERS, J. M. et al. Utilization of heterologous siderophores and rhizosphere competence of fluorescent *Pseudomonas* spp. **Canadian Journal of Microbiology**, v. 41, n. 2, p. 126–135, 1995.

RAAIJMAKERS, J. M.; MAZZOLA, M. Diversity and natural functions of antibiotics produced by beneficial and plant pathogenic bacteria. **Annual Review of Phytopathology**, v. 50, n. May, p. 403–424, 2012.

RADHAKRISHNAN, R.; HASHEM, A.; ABD ALLAH, E. F. *Bacillus*: A biological tool for crop improvement through bio-molecular changes in adverse environments. **Frontiers in Physiology**, v. 8, n. Sep, p. 1–14, 2017.

- RAMYABHARATHI, S. A. et al. Biocontrol of wilt-nematode complex infecting gerbera by *Bacillus subtilis* under protected cultivation. **Egyptian Journal of Biological Pest Control**, v. 28, n. 1, p. 1–9, 2018.
- RAO, M. S. et al. *Bacillus subtilis* IHR BS-2 enriched vermicompost controls root knot nematode and soft rot disease complex in carrot. **Scientia Horticulturae**, v. 218, p. 56–62, 2017.
- RAUT, L. S.; DALVI, S. M.; MANWAR, A. Biological control of *Sclerotium rolfsii*, causing stem rot of groundnut by *Pseudomonas cf. monteilii*. **Recent Research in Science and Technology**, v. 3, n. 3, p. 26–34, 2011.
- ROMEIRO, R. S. **Métodos em bacteriologia de plantas**. Viçosa: UFV, 278, 2001.
- SANDRIN, C.; PEYPOUX, F.; MICHEL, G. Coproduction of surfactin and iturin A, lipopeptides with surfactant and antifungal properties, by *Bacillus subtilis*. **Biotechnology and Applied Biochemistry**, v. 12, n.4, p.370-375, 1990.
- SCHWYN, B.; NEILANDS, J. B. Universal chemical assay for the detection and determination of siderophores. **Analytical Biochemistry**, v. 160, p.47-56, 1987.
- SERFOJI, P.; RAJESHKUMAR, S.; SELVARAJ, T. Management of root-knot nematode, *Meloidogyne incognita* on tomato cv Pusa Ruby by using vermicompost, AM fungus, *Glomus aggregatum* and mycorrhiza helper bacterium, *Bacillus coagulans*. **Journal of Agricultural Technology**, v. 6, n. 1, p. 37–45, 2010.
- SHAFI, J.; TIAN, H.; JI, M. *Bacillus* species as versatile weapons for plant pathogens: a review. **Biotechnology and Biotechnological Equipment**, v. 31, n. 3, p. 446–459, 2017.
- SIDDIQUI, Z. A. PGPR: Prospective biocontrol agents of plant pathogens. In: SIDDIQUI, Z. A.(ed). **PGPR: Biocontrol and Biofertilization**. Springer, The Netherlands, p. 111–142, 2006.
- SIDDIQUI, Z. A.; MAHMOOD, I. Biological control of root-rot disease complex of chickpea caused by *Meloidogyne incognita* race 3 and *Macrophomina phaseolina*. **Nematology Mediterranea**, v.20, p.199-202, 1992.
- SIKORA, R. A. Interrelationship between plant health promoting rhizobacteria, plant parasitic nematodes and soil microorganisms. **Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences**, v.53, p.867-878, 1988.
- SMITH, S. N.; SNYDER, W. C. Persistence of *Fusarium oxysporum* f. sp. *vasinfectum* in fields in the absence of cotton. **Phytopathology**, v.65, p.190-196, 1975.
- SMITH, S. N. et al. *Fusarium* wild of cotton. In: NELSON, P.E.; TOUSSOUN, T. A.; COOK, R. F. (Ed). **Fusarium: disease, biology and taxonomy**. Pennsylvania: The Pennsylvania State University/University Park and London. p. 29-38, 1981.

SÖZER BAHADIR, P.; LIAQAT, F.; ELTEM, R. Plant growth promoting properties of phosphate solubilizing *Bacillus* species isolated from the Aegean Region of Turkey. **Turkish Journal of Botany**, v. 42, n. 2, p. 183–196, 2018.

SPADARO, D.; DROBY, S. Development of biocontrol products for postharvest diseases of fruit: The importance of elucidating the mechanisms of action of yeast antagonists. **Trends in Food Science and Technology**, v. 47, p. 39–49, 2016.

STARR, J. L.; COOK, R., BRIDGE, J. **Plant resistance to parasitic nematode**. CABI, London-UK. p. 258, 2002.

STARR, J. L. et al. The future of nematode management in cotton. **Journal of Nematology**, v. 39, n. 4, p. 283–294, 2007.

STARR, J. L.; Cotton. In: BARKER, K. R.; PEDERSON, G. A.; WINDHAN, G. L (Ed.). **Plant and nematode interaction**. American Society of Agronomy, Madison, p. 359–379, 1998.

STEIN, T. *Bacillus subtilis* antibiotics: Structures, syntheses and specific functions. **Molecular Microbiology**, v. 56, n. 4, p. 845–857, 2005.

SUASSUNA, N. D., COUTINHO, W. M. Manejo das principais doenças do algodoeiro no Cerrado brasileiro. In: FREIRE, E. F. **Algodão no cerrado do Brasil**. Brasília: Associação Brasileira dos Produtores de Algodão. Gráfica e Editora Positiva. Brasília, 2015.

SUKKASEM, P. et al. A multifaceted rhizobacterium *Bacillus licheniformis* functions as a fungal antagonist and a promoter of plant growth and abiotic stress tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 155, n. August, p. 541–551, 2018.

SURYADI, Y. et al. Efficacy of consortium bacteria for control rice diseases under System of Rice Intensification (SRI) in West Java-Indonesia. **Albanian Journal of Agricultural Sciences**, v. 12, n. 1, p. 143–147, 2013.

SWAIN, M. R.; RAY, R. C.; NAUTIYAL, C. S. Biocontrol efficacy of *Bacillus subtilis* strains isolated from cow dung against postharvest yam (*Dioscorea rotundata* L.) pathogens. **Current Microbiology**, v. 57, n. 5, p. 407–411, 2008.

SWIONTEK BRZEZINSKA, M. et al. Chitinolytic microorganisms and their possible application in environmental protection. **Current Microbiology**, v. 68, n. 1, p. 71–81, 2014.

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

TEREFE, M.; TEFERA, T.; SAKHUJA, P. K. Effect of a formulation of *Bacillus firmus* on root-knot nematode *Meloidogyne incognita* infestation and the growth of tomato plants in the greenhouse and nursery. **Journal of Invertebrate Pathology**, v. 100, n.

2, p. 94–99, 2009.

THOMASHOW, L. S. et al. Production of the antibiotic phenazine-1-carboxylic acid by fluorescent *Pseudomonas* species in the rhizosphere of wheat. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 56, n. 4, p. 908–912, 1990.

TIAN, B.; YANG, J.; ZHANG, K. Q. Bacteria used in the biological control of plant-parasitic nematodes: Populations, mechanisms of action, and future prospects. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 61, n. 2, p. 197–213, 2007.

TIMMUSK, S.; GRANTCHAROVA, N.; WAGNER, E. G. H. *Paenibacillus polymyxa* invades plant roots and forms biofilms. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 71, n. 11, p. 7292–7300, 2005.

TIWARI, S. et al. *Bacillus amyloliquefaciens* confers tolerance to various abiotic stresses and modulates plant response to phytohormones through osmoprotection and gene expression regulation in rice. **Frontiers in Plant Science**, v. 8, n. August, 2017.

TORRES, C.; SANCLEMENTE, O. Los Microorganismos solubilizadores de Fosforo (MSF): Una Alternativa Biotecnológica Para Una Agricultura Sostenible. **Entramado**, v. 10, n. 2, p. 288–297, 2014.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Cotton: world markets and trade. **ATA Journal**, v. 8, n. 5, p. 18–24, 2021.

VARDHARAJULA, S. et al. Drought-tolerant plant growth promoting *Bacillus* spp.: Effect on growth, osmolytes, and antioxidant status of maize under drought stress. **Journal of Plant Interactions**, v. 6, n. 1, p. 1–14, 2011.

VEIGAS, A. P. A murcha do algodoeiro. **Revista de Agricultura**, v.10, p. 49-51, 1935.

VITULLO, D. et al. Role of new bacterial surfactins in the antifungal interaction between *Bacillus amyloliquefaciens* and *Fusarium oxysporum*. **Plant Pathology**, v. 61, n. 4, p. 689–699, 2012.

WHITE, T. J. et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics. PCR protocols: a guide to methods and applications, **London**, v. 18, n. 1, p. 315-322, 1990.

WHIPPS, J. M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. **Journal of Experimental Botany**, v. 52, n. mar., p. 487–511, 2001.

WU, K. et al. Competitive use of root exudates by *Bacillus amyloliquefaciens* with *Ralstonia solanacearum* decreases the pathogenic population density and effectively controls tomato bacterial wilt. **Scientia Horticulturae**, v. 218, p. 132–138, 2017.

XIANG, N. et al. Biological control of *Meloidogyne incognita* by spore-forming plant growth-promoting rhizobacteria on cotton. **Plant Disease**, v. 101, n. 5, p. 774–784,

2017.

XIANG, N.; LAWRENCE, K. S.; DONALD, P. A. Biological control potential of plant growth-promoting rhizobacteria suppression of *Meloidogyne incognita* on cotton and *Heterodera glycines* on soybean: A review. **Journal of Phytopathology**, v. 166, n. 7–8, p. 449–458, 2018.

XU, Z. et al. Enhanced control of cucumber wilt disease by *Bacillus amyloliquefaciens* SQR9 by altering the regulation of its DegU phosphorylation. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 80, n. 9, p. 2941–2950, 2014.

YÁNEZ-MENDIZÁBAL, V.; FALCONÍ, C. E. Efficacy of *Bacillus* spp. to biocontrol of anthracnose and enhance plant growth on Andean lupin seeds by lipopeptide production. **Biological Control**, v. 122, p. 67–75, 2018.

YANG, L. et al. Screening *Bacillus* species as biological control agents of *Gaeumannomyces graminis* var. *Tritici* on wheat. **Biological Control**, v. 118, p. 1–9, 2018.

YANTI, Y. et al. The ability of indigenous bacillus spp. Consortia to control the anthracnose disease (*Colletotricum capsici*) and increase the growth of chili plants. **Biodiversitas**, v. 21, n. 1, p. 179–186, 2020.

YAO, A. et al. Effect of FZB 24R *Bacillus subtilis* as a biofertilizer on cotton yields in field tests. **Archives of Phytopathology and Plant Protection**, v. 39, n. 4, p. 323–328, 2006.

YOON, S. H. et al. Introducing EzBioCloud: A taxonomically united database of 16S rRNA gene sequences and whole-genome assemblies. **International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology**, v. 67, n. 5, p. 1613–1617, 2017.

YRUELA, I. Plant development regulation: Overview and perspectives. **Journal of Plant Physiology**, v. 182, p. 62–78, 2015.

YUEN, G. Y. et al. Bean rust biological control using bacterial agents. **Crop Protection**, v. 20, n. 5, p. 395–402, 2001.

ZHANG, J.; HOWELL, C. R.; STARR, J. L. Suppression of *Fusarium* colonization of cotton roots and Fusarium wilt by seed treatments with *Gliocladium virens* and *Bacillus subtilis*. **Biocontrol Science and Technology**, v. 6, n. 2, p. 175–188, 1996.

ZHAO, Y. et al. Antagonistic action of *Bacillus subtilis* strain SG6 on *Fusarium graminearum*. **Plos One**, v. 9, n. 3, p. 1–11, 2014.

ZHU, J. et al. Biocontrol potential of *Bacillus subtilis* IBFCBF-4 against Fusarium wilt of watermelon. **Journal of Plant Pathology**, v. 102, n. 2, p. 433–441, 2020.

ZUCKERMAN, B. M.; BRZESKI, M. W. Methods for the study of plant-parasitic nematodes in gnotobiotic root culture. **Nematologica**. 11, 453–466. 1966.