



BIOCONTROLE DE PATÓGENOS DE SOLO E PROMOÇÃO DE CRESCIMENTO VEGETAL PROMOVIDOS POR *Bacillus* spp. EM MILHO

Biocontrol of soilborne pathogens and growth promotion by Bacillus spp. in corn

Thiago Costa Ferreira^{1*}, Wagner Bettiol²

¹ Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande-PB, Brasil

² Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna, SP, Brasil

*Corresponding author. E-mail address: ferreira_uepb@hotmail.com

Resumo: O cultivo do milho desponta como uma das mais importantes culturas agrícolas do país e sua produção tem sido ameaçada por patógenos habitantes do solo e pelo plantio em locais de baixa fertilidade. Sendo assim tecnologias sustentáveis e eficazes que possibilitem uma melhor sanidade e nutrição das áreas de cultivo desta gramínea são de suma importância para a continuação da produção deste cereal. Dentre estas tecnologias, a utilização de microrganismos na agricultura sustentável desponta como uma promissora tecnologia, em especial com a utilização de isolados microbianos pertencentes ao gênero *Bacillus*. Logo o objetivo desta revisão de bibliografia é reunir novas informações acerca da melhoria da sanidade e da nutrição de plantas de milho pelo auxílio de isolados do gênero *Bacillus*. Para tal foram reunidas informações em artigos publicados em periódicos indexados e em outras bases de informação, no período compreendido entre Janeiro e Agosto de 2019. Logo se pode entender que diversos isolados de *Bacillus* podem ser úteis por promoverem a sanidade, em relação a patógenos de solo, e a melhoria da nutrição aos plantios de milho. Isolados de *Bacillus* podem ser úteis na construção de uma agricultura sustentável com ênfase na cultura do milho.

Palavras-chave: Sanidade, Nutrição vegetal, Microrganismo, *Zea mays*.



Abstract: Maize cultivation emerges as one of the most important agricultural crops in the country and its production has been threatened by soil pathogens and by planting in places of low fertility. Thus, sustainable and effective technologies that allow a better sanitation and nutrition of the cultivated areas of this grassland are of paramount importance for the continuation of the production of this cereal. Among these technologies, the use of microorganisms in sustainable agriculture emerges as a promising technology, especially with the use of microbial isolates belonging to the genus *Bacillus*. Therefore the objective of this literature review is to gather new information about the improvement of sanity and nutrition of plants of corn by the aid of isolates of the genus *Bacillus*. For this purpose, information was collected in articles published in indexed journals and in other information bases, from January to August 2018. It can soon be understood that several isolates of *Bacillus* may be useful for promoting sanity in relation to pathogens and improved nutrition for corn plantations. *Bacillus* isolates may be useful in building sustainable agriculture with an emphasis on maize cultivation.

Key words: Sanity, Plant nutrition, Microorganism, *Zea mays*.

INTRODUÇÃO

Atualmente a agricultura vem passando por um processo de aprimoramento, pois tecnologias modernas de manejo têm sido empregadas para aumentar a produção e a produtividade dos cultivos agrícolas. Porém o uso de destas práticas modernas tem causado desequilíbrio nas dinâmicas naturais em nosso planeta, gerando numa insustentabilidade do sistema produtivo de alimentos, fibras e óleos (NODARI e GUERRA, 2015; SHARMA *et al.*, 2015).

Por conta disto, inúmeras pesquisas têm sido realizadas para que técnicas sustentáveis sejam implementadas para a construção de ambientes agrícolas com alto grau de sustentabilidade. Permitindo que os cultivos sejam mais resilientes a inúmeras



intempéries, inclusive ao ataque de fitopatógenos e a baixa fertilidade dos solos agricultáveis (JOHN *et al.*, 2011).

De modo geral, os cultivos comerciais de apresentam problemas com fitopatógenos, dentre estes, os fitopatógenos habitantes do solo se destacam dentre os demais. Tais microrganismos sobrevivem no solo na maior parte do seu ciclo, podem infectar órgãos subterrâneos e caules e também apresentam capacidade saprofítica. Também são relatadas perdas significativas em áreas produtivas causadas pela nutrição inadequada dos cultivos comerciais, sendo estes casos reflexos ou não do ataque de fitopatógenos habitantes do solo (Nodari e Guerra, 2015; Sharma *et al.*, 2015)

Logicamente, a cultura do milho (*Zea mays*) cereal de origem americana, cultivado em todo o mundo, sofre consideráveis perdas causadas por fitopatógenos habitantes do solo e com problemas de nutrição mineral (CHAPOLA *et al.*, 2014; LIZÁRRAGA-SÁNCHEZ *et al.* 2015). Para o controle destes problemas inúmeras metodologias têm sido utilizadas, porém como já fora dito anteriormente, existe uma procura por tecnologias sustentáveis para o uso na agricultura atual (BARDIN *et al.*, 2015; MARTINS *et al.*, 2015; SHARMA *et al.*, 2015).

Dentre estas tecnologias promissoras e sustentáveis, a utilização de microrganismos na agricultura para a promoção de crescimento vegetal e o biocontrole de fitopatógenos pode ser entendida como uma boa opção de trabalho (DORIGHELLO *et al.* 2014; SIVASAKTHI *et al.*, 2014; MARTINS *et al.*, 2015). E neste caso, isolados de *Bacillus* spp. têm sido relatados como promissores para serem utilizados na milho, como promotores de crescimento e agentes de biocontrole de fitopatógenos (MARTINS *et al.*, 2015; RAZA *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2016).

Sendo assim o objetivo desta revisão foi a descrição de exemplos de promoção de crescimento vegetal e de controle de fitopatógenos de solo promovidos por espécies de *Bacillus* spp. na cultura do milho.



MATERIAIS E MÉTODOS

Neste artigo, é tratada de maneira exploratória da literatura por meio do uso virtual das bases de dados: SciELO, PubMed e LILACS; também livros na área. Para tal, recortes em escala de tempo da contemporaneidade foram utilizados. Assim, ocorreu a pesquisa por meio dos indexadores: Milho, *Bacillus*, solo e doenças. A pesquisa resultou em 62 trabalhos, dentre os quais 32 foram selecionados. Objetivamos a utilização de escritos nacionais e internacionais que descrevessem dados e informações importantes e práticas, de acordo com a temática desta revisão. Para os artigos de periódicos, priorizou-se a utilização de escritos publicados nos últimos cinco anos.

DESENVOLVIMENTO

1. A cultura do milho

O milho é uma espécie vegetal que pertence à divisão *Angiospermae*, classe *Monocotyledonea*, família *Poaceae*, gênero *Zea* e espécie *Zea mays*. Esta espécie tem origem no México e é um dos alimentos mais conhecidos no mundo para consumo humano e animal. A sua domesticação e cultivo ocorreram há cerca de 10.000 anos por indígenas ameríndios. As suas principais características são: ciclo anual, hábito de pedúnculo único, múltiplas folhas, inflorescência masculina (panícula) e feminina (espigas) separadas; sementes com alto valor proteico; metabolismo C4 e adaptação à alta intensidade luminosa (MENDES et al., 2016; PEREIRA et al., 2016).

Lavouras de milho produzem grãos e palha que são utilizados para alimentação humana e animal, combustível e produção de fibras para diversas finalidades em diversas regiões do mundo. No Brasil, o histórico da produção de milho iniciou-se com as tribos indígenas antes do período colonial e, atualmente, é uma das culturas mais plantadas em



todas as regiões do país. Estas lavouras têm sido cada vez mais plantadas com sementes de alto valor genético; com cultivares de ciclo curto (em torno de 90 dias) ou longo (em torno de 120 dias); em duas safras, uma no verão denominada de primeira safra e uma safrinha que pode ser plantada no final do verão e início do outono para ser colhida no inverno (CARVALHO et al., 2014; CAIRES et al., 2014; MENDES et al., 2016).

Tamanha adaptabilidade permite que o Brasil seja o segundo maior produtor mundial de milho, com produção estimada para a safra 2017/18 de 95 milhões de toneladas de grãos em uma área de 4.954,4 milhões de ha para a primeira safra e 67 milhões de toneladas para a segunda safra numa área de 12 milhões de ha. Os estados produtores de maior produtividade e expressão no país são: Rio Grande do Sul (5.102,4 milhões de ton) e Minas Gerais (4.929,0 milhões de ton) para a primeira safra. E para a segunda safra o Mato Grosso é o maior produtor (27.856,0 milhões de ton). O restante da produção do país está distribuída dentre os demais estados da federação (CONAB, 2018).

2. Fitopatógenos habitantes do solo

Doenças de plantas causam mal funcionamento de células e tecidos do hospedeiro, resultado da contínua irritação por um agente patogênico ou fator ambiental e que conduz ao desenvolvimento de sintomas. É uma condição que envolve mudanças anormais na forma, fisiologia, integridade ou comportamento da planta. Estas podem ser de natureza biótica, causada por agentes biológicos microrganismos denominados de fitopatógenos (AGRIOS, 2005). Yurela (2015) descreve que os vegetais que sofrem ataques de pragas tendem a apresentar redução na capacidade produtiva normal fisiológica, implicando em vários problemas que culminam na perda de produção, produtividade e qualidade dos produtos vegetais.

Dentre os diversos grupos de fitopatógenos, os fitopatógenos habitantes de solo apresentam características específicas e importantes quanto à viabilidade e a



disseminação no campo. Estes, de modo geral, sobrevivem no solo por longos períodos mesmo na ausência dos hospedeiros, apresentam a formação de estruturas de resistência, são polípagos, infectam órgãos subterrâneos e caules das plantas, saprofitas e partes do seu ciclo podem ser visualizadas no solo. São causadores de doenças relacionadas com o sistema radicular, tombamento, podridões de colo e raiz, murchas e galhas. Em áreas de clima tropical, são inúmeros os problemas com estes patógenos, haja vista as condições naturais que favorecem flutuações populacionais e o crescimento ao longo do ano (MICHERREF *et al.*, 2005; DAGUERRE *et al.*, 2014; GHORBANPOUR *et al.*, 2018).

Os patógenos de solo pertencem aos seguintes grupos bactérias, nematoides, oomicetos e fungos. Dentro destes grupos, podem ser referidos como os mais importantes os seguintes gêneros, para a cultura do milho: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Coletotrichum*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Erwinia*, *Ralstonia*, *Curtobacterium*, *Meloydogine* e *Pratylenchus* (DAGUERRE *et al.*, 2014; LALIBERTÉ *et al.*, 2015; LIZÁRRAGA-SÁNCHEZ *et al.* 2015; WU *et al.*, 2015; RAZA *et al.*, 2016; GHORBANPOUR *et al.*, 2018).

O controle destes patógenos têm sido realizado com o uso de diferentes métodos de controle. Dentre estas metodologias de trabalho com base em atividades físicas, químicas, culturais, genéticas e, também, com uso de métodos alternativos como, por exemplo, a utilização de microrganismos com ação de biocontrole (LIZÁRRAGA-SÁNCHEZ *et al.* 2015; GHORBANPOUR *et al.*, 2018).

A utilização de microrganismos como agentes de controle biológico de fitopatógenos habitantes do solo tem sido reportada na literatura como uma alternativa eficaz, com alta resiliência a intempéries e sustentável (LIZÁRRAGA-SÁNCHEZ *et al.* 2015; GHORBANPOUR *et al.*, 2018)



3. Doenças do milho

O milho apresenta uma gama de fitopatógenos que atacam as plantas em diversos estágios, desde a emergência das sementes até o armazenamento de grãos e sementes. Dentre estas doenças, as mais importantes relacionadas a patógenos de solo são as seguintes: Cercosporiose (*Cercospora zea-maydis* e *C. sorghi* f. sp. *maydis*); Helmintosporiose (*Bipolaris maydis*), Antracnose (*Colletotrichum graminicola*), Podridões de colmo e raízes (*Fusarium* spp., *C. graminicola*, *Stenocarpella maydis* ou *S. macrospora*), Podridões bacterianas (*Pseudomonas* spp. e *Erwinia* spp.), Nematoses (*Pratylenchus* spp., *Meloidogyne* spp. e *Xiphinema* spp.), Grãos ardidos e podridões em sementes e espigas (*Stenocarpella* spp., *Fusarium* spp., *Aspergillus* spp. e *Penicillium* spp.) (REIS et al., 2004; MACHADO et al., 2013; LIZÁRRAGA-SÁNCHEZ et al. 2015).

Tais patógenos podem ser destacados como sendo importantes e agressivos à cultura do milho, pelo fato que podem ser patogênicos em diversas fases da planta. Estes gêneros podem causar damping-off; podridões de colo, raiz e colmo; manchas foliares; galhas e grãos ardidos no milho (MACHADO et al., 2013; LIZÁRRAGA-SÁNCHEZ et al. 2015; NGUYEN et al., 2017).

Atualmente tem sido crescente o número de artigos em que esta problemática tem sido relatada e possibilidades de manejo com o uso de microrganismos têm sido buscadas extensivamente. Principalmente por estes microrganismos apresentarem diversos métodos de transmissão em áreas de plantio, sementes e entre diferentes partes das plantas infectadas, também poderem ser encontrados como endofíticos, e em alguns casos ainda podem ser causadoras de diversas patologias em animais e humanos, se entrarem em contato com os grãos a serem consumidos por estes (MACHADO et al., 2013; LIZÁRRAGA-SÁNCHEZ et al. 2015).

Existem no mercado diversas moléculas sintéticas que podem ser utilizadas no tratamento de semente em áreas de plantio contra patógenos de solo. No entanto, tem sido descrito na literatura que algumas populações deste fungo têm apresentado um



aumento na resistência a estas moléculas sintéticas. Sendo então necessárias pesquisas com a utilização de métodos alternativos de controle destes patógenos (MACHADO *et al.*, 2013; LIZÁRRAGA-SÁNCHEZ *et al.* 2015; NGUYEN *et al.*, 2017).

4. Uso de microrganismos na agricultura

Microrganismos podem ser utilizados de maneira racional promovendo inúmeros processos biológicos benéficos aos vegetais. Dentre estes processos alguns microrganismos podem apresentar ação de biocontrole e promoção de crescimento de plantas (WU *et al.*, 2015; RAZA *et al.*, 2016).

O controle biológico de doenças de plantas está baseado na utilização de organismos agentes biocontrole (organismo capaz de causar distúrbios em outros organismos), através da relação íntima dinâmica e dependente de diversos fatores bióticos e abióticos. Sendo estas:

a. antibiose: relação biótica em que um ou mais metabólitos produzidos por um determinado organismo têm efeito danoso, deletério ou não, sobre outro organismo. Tais metabólitos podem ser classificados em diferentes classes, tipos e formas de moléculas, mas em sua grande maioria, quando produzidos naturalmente próximo a raízes de plantas, não afetam negativamente os vegetais. Os principais metabólitos produzidos por microrganismos são: antibióticos, fungicidas e nematicidas, inativadores de funções fisiológicas (CHOWDHURY *et al.*, 2015; WU *et al.*, 2015; RAZA *et al.*, 2016).

Kulimushi e colaboradores (2017) descrevem a produção de lipopetídeos por isolados de *Bacillus* spp. que apresentam viabilidade contra *Rhizomucor variabilis*, na presença de plantas de milho e em condições controladas; Também Pereira *et al* (2011) e Lizárraga-Sánchez *et al.* (2015) descrevem a que a produção de metabolitos por diferentes isolados de *Bacillus* permitiram o bicontrol de *F. verticilliodes* em plântulas de milho.

b. competição: interação entre dois ou mais organismos competindo entre si por recursos naturais e/ou espaço. Um bom exemplo deste ponto é a competição por



espaço e recursos naturais que é descrita por Nguyen e colaboradores (2017), na qual leveduras e bactérias benéficas são apontadas como bons organismos para competir com fungos produtores de micotoxinas por conta da sua velocidade de crescimento e desenvolvimento;

c. Parasitismo: ação de um ou mais organismos parasitarem outros, sendo passível de um ou mais seres parasitarem o mesmo hospedeiro, sendo letal ou não a este.

d. Predação: relação biótica em que partes ou microrganismos completos são ingeridos por outros. Isolados de *Pleurotus ostreatus* são descritos na literatura como efetivos em predação de bactérias de diversos gêneros.

e. Hipovirulência: determinado ser transmite características a outro, possibilitando que este segundo tenha suas características fenotípicas mudadas e já não seja igual ao primeiro estágio fenotípico;

f. Indução de resistência: ativação de mecanismos de resistência em organismos por meio da ação de moléculas químicas ou agentes físicos de indução. Neste sentido, os agentes de biocontrole podem servir como bioativadores das moléculas utilizadas para promover a ligação de mecanismos de defesa em vegetais. Tais moléculas são elicitoras de defesa contra fitopatógenos. Dentre os mecanismos utilizados nesta função biológica está o reconhecimento da presença de substâncias pelas plantas por meio de receptores moleculares (PAMPS) (MARIANO *et al.*, 2004; CAWOY *et al.*, 2014; SIVASAKTHI *et al.*, 2014; WU *et al.*, 2015; RAZA *et al.*, 2016).

Alguns microrganismos também podem favorecer o crescimento das plantas, por meio da assimilação de nutrientes (tornando estes mais disponíveis a absorção vegetal) e ação direta ou indireta de fitohormônios, ambos requeridos pelos vegetais para seu crescimento e desenvolvimento (CHOWDHURY *et al.*, 2015; KUNDAN *et al.*, 2015; WU *et al.*, 2015; BANIK *et al.*, 2016). A promoção de crescimento vegetal por meio do favorecimento da assimilação de nutrientes ocorre de diversas formas, sendo estas (CAWOY *et al.*, 2014; SIVASAKTHI *et al.*, 2014; KUNDAN *et al.*, 2015; WU *et al.*, 2015; XU *et al.*, 2016):



1) solubilização de fósforo, segundo elemento mais importante para as plantas, limitado para absorção pelas plantas, em muitos casos, pela forma insolúvel e indisponível encontrada nos solos. Contudo existem microrganismos que liberam ácidos orgânicos que podem ser úteis para a solubilização deste elemento proveniente da matéria orgânica ou mineral do solo. Sendo então parte integrante do ciclo deste elemento possibilitando a sua disponibilidade para as plantas em duas formas: monobásica (H_2PO_4) e a dibásica (HPO_4^{-2}). .

Estes podem ser realizados por dois mecanismos específicos (KUNDAN et al., 2015): i) através da libertação de ácidos orgânicos e que afetam a mobilidade do fósforo por meio de interações iônicas; ii) por meio de fosfatases que ajudam a desvincular os grupos fosfato a partir de matéria orgânica. Dentre os gêneros microbianos que apresentam essa função biológica pode-se destacar: *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Rhizobium* e *Trichoderma* (KUNDAN et al., 2015).

2) assimilação de nitrogênio, elemento mais importante para os vegetais, sendo relatada a assimilação deste por meio de reações bioquímicas de diversos microrganismos que transformam o N_2 atmosférico em amônia, que pode ser assimilada pelos vegetais (BANIK et al., 2016; GUPTA et al., 2016). Neste ponto, diversos são os exemplos de gêneros que apresentam esta função, sendo importantes serem destacadas as pesquisas, principalmente, com o uso de isolados de *Azospirillum*, *Azotobacter* e *Herbaspirillum* em gramíneas, principalmente para a cultura do milho (CAMPOS, 2010; SHARMA et al., 2013; SOUZA et al., 2015)

3) sideróforos que são compostos que tem a função de quelante do Fe^{3+} disponível na solução do solo, caracterizados por apresentarem baixo peso molecular e permitirem que haja uma competição entre os microrganismos, desfavorecendo os fitopatógenos em condições limitantes de ferro (XU et al., 2016). A associação de plantas com microrganismos produtores destes compostos já fora descrita em várias espécies vegetais, como por exemplo, arroz, cana-de-açúcar, milho, girassol, soja e feijão.



4) Hormônios que promovem o crescimento das plantas também podem ser produzidos por determinadas espécies microbianas. Estes, de modo geral, regulam todas as funções fisiológicas, morfológicas e reprodutivas dos vegetais e também podem ter a função de regulação fisiológica em meio a situações de estresse ambiental. (KUNDAN *et al.*, 2015; GUPTA *et al.*, 2016; XU Et Al., 2016). Sendo produzidos os seguintes hormônios (MARIANO *et al.*, 2004; CAMPOS, 2010; KUNDAN *et al.*, 2015; GUPTA *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2016):

a. Auxinas, dentre os quais o ácido indol-3-acético (AIA) é o mais fácil de ser encontrado como produto do metabolismo microbiano. Este hormônio importante nos processos de divisão celular, diferenciação dos tecidos e respostas ao estímulo luminoso e a gravidade, pertencente ao grupo das Auxinas. Estes podem ser produzidos e secretados por isolados de *Bacillus* spp., a via de produção deste composto é realizada inicialmente pelo estímulo no vegetal pela presença de molécula chamada de Triptofano produzida tanto pelos microrganismos ou plantas, quando estimuladas ou não por estes primeiros. Kulimushi *et al.* (2017) descrevem isolados de *Bacillus* spp. podem ser úteis a plantas de milho pela produção de auxinas.

b. Etileno, este hormônio é uma molécula gasosa, produzido em células em divisão, com efeitos no amadurecimento de frutos, germinação e alongamento de estruturas, também sintetizado em momentos de stress, tendo como principal rota de produção a molécula 1-aminociclopropano-1-carboxilato (ACC) produzidas também pelos microrganismos. Existem relatos de isolados de diversos microrganismos, inclusive espécies de *Bacillus*, que produzem esse composto e permitem que as plantas sejam mais eficientes na absorção de nutrientes, por conta do aumento do número de radículas provocado pela ação deste fitohormônio.

c. Citocininas e giberilinas, que são hormônios vegetais que promovem a divisão celular em raízes e na parte aérea; as citocininas tem efeito regulador da senescência e auxilia no crescimento e expansão foliar; controlam também a dominância



apical proposta pelas auxinas; já as giberilinas estão envolvidas nos processos de germinação, respiração celular, crescimento e controle da senescência.

6. *Bacillus* spp. como promotores de crescimento vegetal e antagonistas a patógenos de solo

O gênero *Bacillus* pertence à família *Bacilli*, estas são bactérias Gram positivas, correspondendo a um grupo altamente heterogêneo de espécies, aeróbicos, com células na forma de bastonetes, de tamanho entre 0,5 x 1,2 µm até 2,5 x 10 µm, com motilidade variável, produtoras de biofilme e habitam diversos nichos (solo, gêneros alimentícios ou água). Estas podem ser aeróbias, facultativas ou anaeróbias; tendo como característica marcante a produção de endósporos a partir de mecanismos desencadeados por fatores ambientais (calor, alguns produtos químicos). Também podem apresentar diversas funções biológicas: regulação biológica, reciclagem de matéria orgânica, promoção de crescimento em vegetais e controle biológico de fitopatógenos (EARL *et al.*, 2008; CAWOY *et al.*, 2014; MARTINS *et al.*, 2015; RAZA *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2016).

Dentro do gênero *Bacillus* existem isolados que podem agir como agentes de promoção de crescimento vegetal por apresentarem as seguintes características: produção de hormônios vegetais, antibióticos e sideróforos; assimilação e solubilização de nutrientes; e como descrito anteriormente (BAYSAL; TOR, 2014; SIVASAKTHI *et al.*, 2014; WU *et al.*, 2015).

Estes serviços biológicos são realizados primeiramente por um processo simbiótico entre os isolados de *Bacillus* que vivem sobre e sob os tecidos vegetais. Tal processo biológico é realizado o passo que os tecidos vegetais, prioritariamente as raízes, liberam no solo ou substrato de fixação uma grande quantidade de exsudatos. Tais substâncias formam um ambiente atrativo para isolados de *Bacillus* e para outros



microrganismos presentes no solo. Estes organismos por sua vez se alimentam destes exsudatos, se multiplicam e naturalmente promovem as regulações benéficas as plantas descritas anteriormente (SIVASAKTHI *et al.*, 2014; CAMPOS, 2010).

Este gênero configura um dos mais importantes grupos de microrganismos utilizados comercialmente para a promoção de crescimento vegetal e o biocontrole de fitopatógenos (KUNDAN *et al.*, 2015; GUPTA *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2016).

Mecanismos diversos podem ser promovidos, direta ou indiretamente, por isolados de *Bacillus* promovendo uma melhor adaptação dos vegetais ao meio ambiente que as circunda; também bem como a melhoria no crescimento e desenvolvimento vegetal e resistência ao ataques de seus respectivos patógenos (WU *et al.*, 2015; BAYSAL *et al.*, 2014; GUPTA *et al.*, 2016).

Com respeito às características diretas de promoção de crescimento vegetal referentes ao gênero *Bacillus* podem ser relatadas as seguintes: produção de hormônios vegetais, sideróforos, moléculas com função antagônica; também são assimiladores e solubilizadores de nutrientes. E como indiretas, pois não agem no crescimento mais permitem uma melhor sanidade e isso pode ser refletido em maiores níveis de crescimento e desenvolvimento vegetal, sendo estes: podem competir por espaço e recursos naturais contra outros microrganismos; também apresentam a característica de promover a indução de resistência em vegetais e controle de fitopatógenos (BAYSAL *et al.*, 2014; KUNDAN *et al.*, 2015; WU *et al.*, 2015; GUPTA *et al.*, 2016; XU *et al.*, 2016).

Dentre as principais espécies de *Bacillus* que são reconhecidas como agentes promotores de crescimento e agentes de biocontrole podem ser evidenciadas as seguintes: *B. subtilis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. pumilus* e *B. firmus*. E, como exemplos, podem ser citados os seguintes gêneros patógenos contralados pelo uso de *Bacillus* em diversas culturas agrícola, de acordo com a literatura: *Sclerotinia*, *Sclerocium*, *Fusarium*, *Thielaviopsis*, *Cercospora*, *Alternaria*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Erwinia*, *Ralstonia*, *Meloydogine*, *Pratilenchus* (MARIANO *et al.*, 2004; CHOWDHURY *et al.*, 2010; DORIGHELLO



et al. 2014; FERREIRA, 2015; BAYSAL *et al.*, 2014; MARTINS *et al.*, 2015; WU *et al.*, 2015; GUPTA *et al.*, 2016).

No Brasil, existem produtos registrados junto ao MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento) a base de *Bacillus* com as seguintes recomendações de controle para o controle de fitopatógenos do solo: *B. firmus* para controle de *Meloydogine javanica*, *M. incognita* e *Pratylenchus brachyurus*; *B. subtilis* para o controle de *Rhizoctonia solani*, *Botrytis cinerea*, *Hemileia vastratix*; *B. amyloliquefaciens* para o controle de *Colletotrichum gloesporioides*, *B. cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum*, *Alternaria solani*, *Pratylenchus brachyurus*; *B. methilotrophicus* para o controle de *M. incognita* e *P.brachyurus* (BRASIL, 2018).

7. Controle biológico de doenças e promoção de crescimento em milho promovidos por isolados do gênero *Bacillus*

Várias bactérias são reportadas como agentes promotores de crescimento em milho, dentre estas espécies de *Azotobacter*, *Azospirillum* e *Bacillus* são as mais estudadas (KUAN *et al.*, 2016). Como exemplo, a associação de isolados de *Azotobacter* e *Azospirillum* em áreas de cultivo promoveu um acréscimo de mais de 30,7% na produção de biomassa de milho (PIROMYOU *et al.*, 2011). Isolados de *B. megaterium* e *B. mucilaginous* aumentaram significativamente a produção de biomassa (palhada e grãos) em plantas de milho, acima dos valores atingidos por tratamentos com fertilizantes químicos (WU *et al.*, 2005). O isolado *Bacillus* sp. CNPSo 2481 promoveu acréscimo de 39% no volume de raízes em plantas de milho e um aumento na germinação de 56% quando comparado com a testemunha (SZILAGYI-ZECCHIN *et al.*, 2014).

Diferentes isolados de *Bacillus* são reportados na literatura como detentores de características naturais que permitem assimilação e/ou solubilização de nutrientes (N, P e S) na presença de plantas de milho. Permitindo que estas possam serem melhores nutridas



do substrato em que estão fixadas e assim poderem produzir mais biomassa (WU *et al.*, 2005; LIZÁRRAGA-SÁNCHEZ *et al.*, 2015; KULIMUSHI *et al.*, 2017).

Wu e colaboradores (2005) descrevem que a inoculação de isolados de *B. megaterium* e de *B. mucilaginosus*, em consórcio ou não com fungos arbusculares (*Glomus mosseae* e *Glomus intraradices*), promoveu um melhor aproveitamento de nutrientes (N, P e K) do biofertilizante utilizado no experimento. Ainda sobre este trabalho, foi constatado que os fungos arbusculares apresentavam maior desenvolvimento dentro das raízes das plantas estudadas na presença dos isolados de *Bacillus* spp. Também foi constatado que tais fungos, na ausência dos isolados de *Bacillus* spp., promoviam uma inibição da absorção dos referidos nutrientes pelas plantas estudadas.

Lizárraga-Sánchez *et al.* (2015) testando diferentes isolados de *Bacillus* spp. provenientes de áreas de plantio com milho afirmam que o acréscimo produtivo de plantas de milho, na presença de isolados de *Fusarium* spp. afirmando que, indiretamente, a absorção de nutrientes foi melhorada pela ação da inibição dos referidos patógenos habitantes do solo e por isso as raízes se tornaram mais efetivas para absorver nutrientes.

Kulimushi *et al.* (2017) afirmam que isolados *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* contribuíram para que plantas de milho, na presença de *Rhizomucor variabilis*, pudessem ser mais efetivas em se defender deste patógeno e ainda crescerem e desenvolverem melhores que a testemunha, sem a presença de nenhum microrganismo inoculado.

Ainda como exemplos de promoção de crescimento em plantas de milho por meio da utilização de cepas de *Bacillus* spp. podem ser descritos as seguintes pesquisas: os isolados *B. pumilus* S1r1 e *B. subtilis* UPMB10 como solubilizadores fósforo (KUAN *et al.* 2016); também como descrito por Noumavo e colaboradores (2015) vários isolados de *B. thurigiensis*, *B. lentus*, *B. firmus* e *B. licheniformes* e o isolado *B. subtilis* 330-2, citado por Ahmad *et al.* (2017); são citados como solubilizadores de fósforo; os isolado *B. subtilis* 330-



2 e o *Bacillus* sp. CNPSo 2481, citados por Ahmad *et al.* (2017) e Szilagyi-Zecchin *et al.* (2014), respectivamente, são produtores de sideróforos.

Também existem isolados de *Bacillus* spp. que promovem a produção de hormônios vegetais (auxinas, citocininas e giberilinas), também podem elicitar genes de defesa e enzimas de promoção de crescimento (Catalase, peroxidase, fenilamoniliase) em plantas de milho (KUAN *et al.*, 2016; GOND, *et al.*, 2017; KULIMUSHI *et al.*, 2017).

Isolados de *Bacillus* podem ser utilizados, seguindo relatos da literatura, como agentes de biocontrole, direto ou indireto, de microrganismos fitopatogênicos ao milho (WU *et al.*, 2005; LIZÁRRAGA-SÁNCHEZ *et al.*, 2015; KULIMUSHI *et al.*, 2017). No Brasil, por exemplo, os isolados *Bacillus* que são o componente de produtos registrados para o controle de fitopatógenos de solo em milho: *B. firmus*, *B. methilotrophicus* e também um produto a base da mistura de *B. subtilis* e *B. liqueniformes*, ambos para o controle de *Meloydogine incognita*, *M. javanica* e *Pratylenchus brachiurus*, com a recomendação para o tratamento de sementes (BRASIL, 2018)

Na literatura são descritas informações a cerca de diversos isolados com ação comprovada contra fitopatógenos para a cultura do milho, alguns exemplos desta interação serão descritos a seguir. O isolado *B. subtilis* JW.03 pode promover a produção de enzimas de defesa contra fitopatógenos em plantas de milho (GOND *et al.*, 2017). Já o isolados *Bacillus* sp. CNPSo 2481 inibe a ação parasitária dos seguintes fungos habitantes do solo: *Fusarium verticillioides*, *Colletotrichum graminicola*, *Bipolaris maydis* e *Cercospora zea-maydis* (SZILAYI-ZECCHIN *et al.*, 2014).

Kulimushi *et al.* (2017) descrevem também a efetividade de diferentes isolados de *Bacillus* sp. contra *Rhizomucor variabilis*, na qual isolados classificados como *B. amyloliquefaciens* subsp. *plantarum* promoveram o aumento de enzimas de defesa nas plantas, também produziam substâncias com caráter antagônico a este fungo e ainda foram efetivas na promoção de crescimento vegetal, como descrito anteriormente Pereira *et al.* (2011) e Lizárraga-Sánchez *et al.* (2015) afirmam que isolados indígenas de *Bacillus*



spp. podem ser úteis para o biocontrole de *F. verticillioides* em plântulas de milho, reestabelecimento da sanidade e fisiologia de sementes e plântulas desta gramínea.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os isolados de *Bacillus* apresentaram características promissoras quanto à promoção de crescimento vegetal e ao biocontrole de fitopatógenos de solo para a cultura milho. Ainda pode melhorar muitas condições ambientais da lavoura e, portanto, promover um ganho considerável as áreas produtivas desta gramínea.

REFERÊNCIAS

AGRIOS, G. N. **Plant pathology**. 5 ed. Burlington: Elsevier Academic Press, 2005.

AMORIM, L.; REZENDE, J.A.M. & BERGAMIN FILHO, A. eds. **Manual de Fitopatologia. Volume 1. Princípios e Conceitos**. 4ª Edição. Editora Agronômica Ceres Ltda. São Paulo. 2011. 704p.

BARACAT PEREIRA, M.C., OLIVEIRA, M.G.A., BARROS, E.G., MOREIRA, M.A., SANTORO, M.M.. Biochemical properties of soybean leaf lipoxygenases: presence of 16 soluble and membrane bound forms. **Plant Physiol. Biochem.** Vol. 39, págs. 91 98, 2001.

BETTIOL, W.; MORANDI, M. A. B. (Ed.). **Biocontrole de doenças de plantas. Uso e perspectivas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2009. 332. p

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Regras para análise de sementes**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 395p.

CAIRES, E. F.; MILLA, R. Adubação nitrogenada em cobertura para o cultivo de milho com alto potencial produtivo em sistema plantio direto de longa duração. **Bragantia**, v. 75, n. 1, p. 87 95, 2016



CAMPOS, J.T. **Rizobactérias promotoras do crescimento de cana de açúcar**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agronômico. Campinas, SP. 2010. Págs. 71.

CAWOY, H.; MARIUTTO, M.; HENRY, G.; FISHER, C.; VASILYEVA, N.; THONART, P.; DOMMES, J.; ONGENA, M. et al. Plant Defense Stimulation by Natural Isolates of *Bacillus* Depends on Efficient Surfactin Production. **MPMI**, v. 27, n. 2, pp. 87–100, 2007.
<http://dx.doi.org/10.1094/MPMI.09.13.0262.R>.

CHOWDHURY, S.P.; HARTMANN, A.; GAO, X.; BORRIS, R. Biocontrol mechanism by root-associated *Bacillus amyloliquefaciens* FZB42- a review. **Frontiers in microbiology**, v. 6, n. 780, 2014. doi: 10.3389/fmicb.2015.00780.

CONAB. **Perspectivas da agropecuária – 2018**. Disponível em:
https://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_09_06_09_30_08_perspectivas_da_agropecuaria_bx.pdf Acesso em: 03/05/2018.

DORIGHELLO, D.V.; BETTIOL, W.; MAIS, N.B.; LEITE, R.M.V.B.C. Controlling Asian soybean rust (*Phakopsora pachyrhizi*) with *Bacillus* spp. and coffee oil. **Crop Protection**, v.67, 2015.

EARL, A.M.; LOSICK, R.; KOLTER, R. Ecology and genomics of *Bacillus subtilis*. **Trends Microbiol.**, v. 16, n. 6, 2008.

FERREIRA, R.J. **Espécies de *Bacillus* no controle de *Meloidogyne incognita* e *Meloidogyne javanica* in vitro e na cana de açúcar**. Dissertação (mestrado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, SP, 2015, 60 p.

GOND, S.K. et al. Endophytic *Bacillus* spp. produce antifungal lipopeptides and induce host defence gene expression in maize. **Microbiological Research.**, v. 172, pags. 79-87, 2015.

JOHN, R.P.; TYAGI, R.D; SURAMPALLI, R.Y.; PRÉVOST, D. Bio-encapsulation of microbial cells for targeted agricultural delivery. **Critical Reviews in Biotechnology**, vol. 3, n. 31, págs: 211–226, 2011.

KULIMUSHI, Z.; ARIAS, A.; FRANZIL, L.; STEELS, S.; ONGENA, M. Stimulation of Fengycin-Type Antifungal Lipopeptides in *Bacillus amyloliquefaciens* in the Presence of the Maize Fungal Pathogen *Rhizomucor variabilis*. **Frontiers Microbiology**, v. 15, n. 8, 2017. doi: 10.3389/fmicb.2017.00850

LIZÁRRAGA-SÁNCHEZ, G.J.; LEYVA-MADRIGAL, K.Y.; SÁNCHEZ-PEÑA, P.; QUIROZ-FIGUEROA, F.R.; MALDONADO-MENDOZA, I.E. *Bacillus cereus* sensu lato strain B25 controls maize stalk and ear rot in Sinaloa, Mexico. **Field Crops Res.**, v. 176, págs.11–21, 2015. doi:10.1016/j.fcr.2015.02.015



MACHADO, J.C. *et al.*; MACHADO, A.Q.; POZZA, E.A.; MACHADO, C.F.; & ZANCAN, W.L.A. Inoculum potential of *Fusarium verticillioides* and performance of maize seeds. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n.3, págs. 213- 217, 2016. DOI: <https://dx.doi.org/10.1590/S198256762013000300005>

MARIANO, R.L.R.; SILVEIRA, E.B.; ASSIS, S.M.P.; GOMES, A.M.A.; NASCIMENTO, A.R.P.; DONATO, V.M.T.S. Importância de bactérias promotoras de crescimento e de biocontrole de doenças de plantas para uma agricultura sustentável. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, vol. 1, p.89-111, 2004.

MARTINS, S.J.; MEDEIROS, F.H.V.; SOUZA, R.M.; FARIA, A.F.; CANCELIER, E.L.; SILVEIRA, H.R.O.; RESENDE, M.L.V.; GUILHERME, L.R.G. Common bean growth and health promoted by rhizobacteria and the contribution of magnesium to the observed responses. **Applied Soil Ecology**, v. 87, págs. 49–55, 2015.

MICHEREFF, S.J.; ANDRADE, D.E.G.T.; MENEZES, M. **Ecologia e manejo de patógenos radiculares em solos tropicais**. Recife, Brasil. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Imprensa Universitária. pp. 1 18. 2009.

NGUYEN, P.-A.; STRUB, C.; FONTANA, A.; SCHORR-GALINDO, S. Crop molds and mycotoxins: Alternative management using biocontrol. **Biol. Control**, v. 104, págs. 10–27, 2017.

NODARI, R.O.; GUERRA, M.P. A agroecologia: estratégias de pesquisa e valores. **Estudos Avançados**, vol. 83, n. 29, 2015.

NORONHA, M. A.; MICHEREFF, S. J.; MARIANO, R. L. R. *et al.* Efeito do tratamento de sementes de caupi com *Bacillus subtilis* no controle de *Rhizoctonia solani*. **Fitopatologia Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 174 178, 1995.

REIS, E.M.; CASA, R.T.; BRESOLIN, A.C.R. **Manual de diagnose e controle de doenças do milho**. 2ed. Lages: Graphel, 2004. 144p.

SHARMA, K.K.; SINGH, U.S.; SHARMA, P.; KUMAE, A. SHARMA, L. Seed treatments for sustainable agriculture-A review. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 1, n. 13, págs. 521 – 539, 2015.

SILVA, J.J. *et al.*; VIARO, H.P.; FERRANTI, L.S.; OLIVEIRA, A.I.M.; FERREIRA, J.M.; RUAS, C.F. Genetic structure of *Fusarium verticillioides* populations and occurrence of fumonisins in maize grown in southern Brazil. **Crop protection**, n. 99: págs, 160 167, 2017. Doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cropro.2017.05.020>.



SOYTONG, K.; PONGNAK, W.; KASOLARN, H. Biological control of *Thielaviopsis* Bud Rot of *Hyophorbe lagenicaulis* in the field. **Journal of Agricultural Technology**, v. 23, p.235-245, 2005.

SZAFRANSKA, K. *et al.*; REITER, R.J.; POSMYK, M.M. Melatonin Improves the Photosynthetic Apparatus in Pea Leaves Stressed by Paraquat via Chlorophyll Breakdown Regulation and Its Accelerated de novo Synthesis. **Front. Plant Sci.**, v. 8, n. 878, 2017. doi: 10.3389/fpls.2017.00878

TALUKDER, M.I.; BEGUM, F.; AZAD, M.M.K.. *et al.* Management of Pineapple Disease of Sugarcane through Biological Means. **Journal of Agriculture & Rural Development**, v.5, n.1&2, p.79 83. 2007.

WU, L.; WU, H.; QIAO, J.; GAO.; BORRIS, R. Novel Routes for Improving Biocontrol Activity of Bacillus Based Bioinoculants. **Front. Microbiol.**, v. 6, n. 1395, 2015. doi: 10.3389/fmicb.2015.01395

XU, S.J.; PARK, D.P.; KIM, K.; KIM, B. *et al.* Biological control of gray mold and growth promotion of tomato using *Bacillus* spp. isolated from soil. **Trop. plant pathol.**, v. 41, págs. 169–176, 2016. Doi: 10.1007/s40858 016 0082 8

Received: 05 July 2019

Accepted: 07 September 2019

Published: 01 October 2019