

Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 13 (1)

February 2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/1312020864>

Article link

<http://www.seasinop.com.br/revista/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=864&path%5B%5D=pdf>

Included in DOAJ, AGRIS, Latindex, Journal TOCs, CORE, Discoursio Open Science, Science Gate, GFAR, CIARDRING, Academic Journals Database and NTHRYS Technologies, Portal de Periódicos CAPES.



Interação *bradyrhizobium* e *azospirillum* em cultivares de soja (*glycine max* (L.) Merrill) e seus efeitos na produtividade

Bradyrhizobium and azospirillum interaction in soybean cultivars (Glycine Max (L.) Merrill) and their effects on productivity

T. O. D. Gonzaga¹, A. S. Silva Filho², V. L. Silva³

¹ Escola Técnica Estadual de Canarana

² Universidade Federal de Mato Grosso

³ Universidade Estadual de Goiás - Campus São Luís de Montes Belos

Author for correspondence: thais_agronoma@hotmail.com

Resumo: O Brasil é um grande produtor de soja e modelo no uso da fixação biológica de nitrogênio, entretanto são poucos autores que pesquisam sobre o uso de mais de um gênero de bactérias agindo isoladas e/ou conjuntamente. Um exemplo é o uso das bactérias diazotróficas do gênero *Bradyrhizobium* e *Azospirillum*, esta última além da fixação apresenta função de promoção de crescimento. Assim, o objetivo dessa revisão bibliográfica é verificar a influência no desempenho produtivo *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense*, na cultura da soja.

Palavras-chave: Bactérias promotoras de crescimento; *Glycine max*; tratamento de sementes

Abstract: Brazil is a major producer of soybeans and a model in the use of biological nitrogen fixation, however, few authors are investigating the use of more than one genus of bacteria acting alone and / or together. An example is the use of the diazotrophic bacteria of the genus *Bradyrhizobium* and *Azospirillum*, the latter besides the fixation presents growth promoting function. Thus, the objective of this bibliographic review and to verify the influence on the productive performance *Bradyrhizobium japonicum* and *Azospirillum brasilense*, in the soybean crop.

Keywords: Growth promoting bacteria; *Glycine max*; seed treatment

Introdução

Hoje o Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja (*Glycine max* (L.) Merrill), no qual, estima-se uma área total de plantio de 61,53 milhões de hectares, com produção de 227,95 milhões de toneladas, representando um recuo de 4,1% em relação à safra passada 2016/2017, cuja produção ficou entre 28,7 e 29,5 milhões (CONAB, 2018). Porém, alguns fatores limitam a produtividade de soja, dentre eles, a fixação biológica de nitrogênio (FBN), a competição por sítios nodulares entre estirpes utilizadas nos inoculantes e os rizóbios do solo. Quando as estirpes são de menor eficiência, condições de baixa fertilidade do solo e elevadas doses de nitrogênio combinado, o efeito da rizosfera, tensão da água, pH do solo, salinidade, temperatura, toxinas e predadores podem também afetar a nodulação e/ou a FBN de leguminosas junto à vasta

variedades de estirpes de bactérias do grupo *Rhizobium* (KAMICKER & BRILL, 1986; LIMA et al., 1998).

Além dos fatores que limitam a produtividade da cultura, têm-se as contribuições de pesquisas para o adequado manejo de cultura da soja e do solo com destaque para a seleção de estirpes eficientes de *Bradyrhizobium* (pertencente ao grupo *Rhizobium*), plantio direto, controle de ervas daninhas, insetos-praga e doenças (KASTER & BONATO, 1980; LIMA et al., 1998). As bactérias do grupo *Rhizobium* são bactérias estritamente aeróbias, quimioorganotróficas, na forma de bastonetes não formadores de esporos, do grupo Gram-negativas. São habitantes do solo, onde fixam o nitrogênio atmosférico (N₂) em simbiose com leguminosas e algumas plantas não leguminosas, induzindo a formação de nódulos nas raízes,

permanecendo nestas como bacteróides fixadores de N (SOARES, 2009).

A FBN é a principal fonte de N para a cultura da soja, sendo o elemento requerido em maiores quantidades pela cultura, pois os grãos são muito ricos em proteínas apresentando um teor médio de 6,5% de N, onde são necessários 65 kg de N para produzir 1.000 kg de grãos de soja (HUNGRIA et al., 2001). As bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, cujas espécies são *Bradyrhizobium elkanii* e *Bradyrhizobium japonicum*, indicadas para a cultura da soja, são bactérias que estabelecem uma simbiose com as raízes da soja, no qual infectam suas raízes, via pêlos radiculares.

Com isso há a formando os nódulos, que são estruturas modificadas, onde ocorre a FBN (EMBRAPA SOJA, 2000). Neste processo a bactéria capta o N da atmosfera e o disponibiliza à planta (ZILLI & MARSON, 2011). O que resulta na transformação do N₂ em amônia (NH₃), intermediado pela enzima dinitrogenase, presente em determinados grupos de bactérias (SILVA et al., 2011). Como as bactérias nitrificadoras naturalmente presentes no solo podem não ser eficientes na FBN, uma prática comum na produção de soja é a inoculação com bactérias do grupo *Rhizobium*, sendo que a inoculação com as bactérias fixadoras de N é capaz de suprir totalmente a necessidade de utilização de adubos nitrogenados na cultura (SOARES, 2009).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo geral, avaliar a eficiência agrônômica da inoculação de duas combinações de estirpes de *Bradyrhizobium* (*B. japonicum* e *B. elkanii*) em casa de vegetação e seus efeitos na produtividade em cultivares de soja.

Contextualização e análise

Cultura da Soja (*Glycine max* (L.) Merrill)

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), é uma das plantas cultivadas mais antigas do mundo, sendo a região central da China, o provável centro genético primário da soja. É uma planta pertencente à família das *Leguminosae*, do gênero *Glycine* L. e da espécie *Glycine max* (L.) Merrill (VARGAS & HUNGRIA, 1997), classificada como espécie de ciclo C3, pertence ao grupo das espécies de plantas cultivadas que fixam CO₂ pelo ciclo de Calvin. Os primeiros produtos estáveis da sua fotossíntese são as trioses denominadas de ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA) e glicerato, constituídas por três átomos de carbono (CÂMARA, s.d.).

No Brasil, a cultura, foi introduzida em 1882, na Bahia e a variedade utilizada foi a *Soja hispida*, de sementes brancas, pretas e vermelhas (D'UTRA, 1891; VARGAS & HUNGRIA, 1997). A implantação de programas de melhoramento de soja no Brasil possibilitou o avanço da cultura para as regiões de baixas latitudes, através do desenvolvimento de cultivares mais adaptados por meio da incorporação de genes que atrasam o florescimento mesmo em

condições de fotoperíodo indutor, conferindo a característica de período juvenil longo (KIIHL & GARCIA, 1989; FREITAS, 2011). Além disso, o desenvolvimento de variedades resistentes a algumas doenças que afetam a cultura também foram um dos fatores possibilitou o avanço da cultura (FREITAS, 2011).

Outros grandes fatores que contribuíram para a expansão da soja no Brasil foram a implantação do manejo integrado de pragas, controlando os principais insetos causadores de danos econômicos na cultura, avanços científicos em tecnologias para manejo de solos, com técnicas de correção da acidez, o processo de inoculação das sementes para fixação biológica do nitrogênio e a adubação balanceada com macro e micronutrientes, que permitiram à cultura expressar sua potencialidade nas diversas condições edafoclimáticas do território brasileiro (FREITAS, 2011). Além do emprego de variedades de alta capacidade de resposta à fertilidade e a Fixação Biológica de Nitrogênio (FBN), estirpes eficientes de rizóbio específico, produção e uso em larga escala de inoculantes com adoção nas áreas de introdução da cultura, práticas de correção do solo como calagem e a adequada adubação (FREIRE & VERNETTI, 1997).

O cultivo da soja na região dos Cerrados iniciou-se na década de 70 e, hoje, a cultura é de grande importância na região, com uma produtividade média de 2082 kg/ha, superando a média nacional de 1553 kg/ha (IBGE, 1993; VARGAS & HUNGRIA, 1997). Hoje a região do Cerrado contribui com mais de 25% da produção de alimentos, além de abrigar 40% do rebanho bovino do país (VARGAS & HUNGRIA, 1997).

O Brasil, hoje, é o segundo maior produtor mundial de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) (LIMA et al., 1998), no qual, estima-se uma área entre 28,7 e 29,5 milhões de hectares com a cultura na safra de 2013/2014 com produção prevista de 87,8 a 90,2 milhões de toneladas. Nessa estimativa, o Brasil poderá superar os Estados Unidos que é o primeiro maior produtor mundial de soja, em volume produzido (LIMA FILHO, 2013). Porém, alguns fatores limitam a produtividade de soja como a FBN, a competição por sítios nodulares entre estirpes utilizadas nos inoculantes e os rizóbios do solo. Quando estas são de menor eficiência, condições de baixa fertilidade do solo e elevadas doses de nitrogênio combinado, o efeito da rizosfera, tensão da água, pH do solo, salinidade, temperatura, toxinas e predadores podem também afetar a nodulação e/ou a FBN de leguminosas junto à vasta variedade de estirpes de bactérias do grupo *Rhizobium* (KAMICKER & BRILL, 1986; LIMA et al., 1998).

Fixação Biológica de Nitrogênio na Cultura da Soja

O nitrogênio (N) é o elemento mais abundante na atmosfera (em torno de 70%), e portanto, o elemento requerido em maiores quantidades pela cultura, pois os grãos são muito ricos em proteínas apresentando um teor médio de 6,5% de N, onde são necessários 65 kg de N para produzir 1.000 kg de grãos de soja (HUNGRIA et al., 2001). A FBN é a principal fonte de N para a cultura da soja, caracterizando-se por ser um processo biológico mediado por bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (pertencente ao grupo *Rhizobium*). Quando em contato com a soja, infectam as raízes, via pêlos radiculares, formando os nódulos, e dependendo da eficiência da FBN, ela pode fornecer todo o N que a soja necessita (EMBRAPA, 2000).

A FBN é um processo significativo no setor agrícola, sendo o processo biológico que contribui com a maior parte do N fixado. Estima-se que fornece cerca de 175 milhões de toneladas de N para a biosfera, ou seja, 65% do total, que o faz ser o segundo processo biológico mais importante do planeta depois da fotossíntese, junto a decomposição orgânica (MOREIRA; SIQUEIRA, 2006)

As bactérias do grupo *Rhizobium* são bactérias procarióticas, diazotróficas estritamente aeróbias, quimioorganotróficas, na forma de bastonetes não formadoras de esporos, Gram-negativas, e encontradas no solo, onde fixam o nitrogênio atmosférico (N₂) em simbiose com leguminosas e algumas plantas não leguminosas, induzindo a formação de nódulos nas raízes, permanecendo nestas como bacteróides fixadores de N (SOARES, 2009).

As bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, chamadas coletivamente de rizóbio, cujas espécies são *Bradyrhizobium elkanii* e *Bradyrhizobium japonicum*, são indicadas para a cultura da soja (EMBRAPA, 2000). Entre estas espécies de *Bradyrhizobium*, várias estirpes são vendidas comercialmente na forma de inoculantes (FAGAN et al., 2007) que substitui a adubação nitrogenada (DIEHL & JUNQUETTI, s.d.). A FBN destaca-se como uma tecnologia capaz de permitir incrementos no rendimento de grãos, minimizar o custo da produção, ao reduzir o uso de fertilizantes nitrogenados, trazendo benefícios para o meio ambiente, além de proporcionar aumentos na fertilidade e na matéria orgânica do solo (GUALTER et al., 2011). É recomendada para todas as áreas cultivadas com soja no Brasil, e resulta numa economia anual de 14 bilhões de reais por safra para os agricultores brasileiros, dispensando o uso de fertilizantes nitrogenados na adubação da soja (AGRONOTÍCIAS, 2013).

A adubação nitrogenada, além de desnecessária, em muitas vezes é prejudicial à fixação do nitrogênio, e mesmo em solos com grandes quantidades de restos vegetais, não há efeito benéfico da aplicação de N no sulco de

semeadura sobre a produção de grãos. No entanto, a inoculação das sementes deve ser feita todos os anos, para que a nodulação ocorra com as estirpes presentes no inoculante e não com aquelas presentes no solo que podem ser de baixa eficiência (DIEHL & JUNQUETTI, s.d.).

As estirpes mais utilizadas na cultura da soja no Brasil são a SEMIA 587 e SEMIA 5019 (= 29 W) pertencentes a *Bradyrhizobium elkanii* e SEMIA 579 (= CPAC 15) e SEMIA 5080 (= CPAC 7) pertencentes à espécie *Bradyrhizobium japonicum* (CHUEIRE et al., 2003; FAGAN et al., 2007), sendo que, ambas as estirpes das espécies de *Bradyrhizobium* devem ser utilizadas sempre duas a duas (DIEHL & JUNQUETTI, s.d.).

Estas espécies de bactérias estabelecem uma simbiose com as raízes da soja, infectando-as, via pêlos radiculares, formando os nódulos (EMBRAPA SOJA, 2000), que são estruturas modificadas, onde ocorre a FBN, e onde a bactéria capta o N da atmosfera e o disponibiliza à planta (ZILLI & MARSON, 2011). Este processo resulta na transformação do N₂ em amônia (NH₃), intermediado pela enzima dinitrogenase, presente em determinados grupos de bactérias (SILVA et al., 2011).

O processo de infecção pelo rizóbio envolve diferentes agentes sinalizadores entre a planta e a bactéria (GERAHTY et al., 1992; TIMMERS et al., 1999; TAIZ & ZIEGER, 2004; FAGAN et al., 2007). Segundo TIMMERS et al. (1999), *apud* FAGAN et al. (2007), a bactéria noduladora migra em direção as raízes em função da resposta quimioestática, decorrente da atração pelos isoflavonóides e betaínas secretadas pelas raízes. Esses atrativos para as bactérias ativam enzimas, as quais induzem a transcrição de genes *nod*, que codificam as moléculas sinalizadoras de oligossacarídeos de lipoquitina. Durante o contato as células dos pêlos radiculares liberam fatores de nodulação (Nod), causando o enrolamento do mesmo e, portanto promovendo o desenvolvimento do nódulo (Figura 1) (FAGAN et al., 2007).

Entretanto, apenas as bactérias que possuem a enzima nitrogenase (XAVIER et al., s.d.) que é um complexo enzima formada por duas unidades proteicas (Ferro-proteína e Molibidênio-Ferro-Proteína) responsáveis pela FBN no nódulo (BURRIS, 1999; MYLONA et al., 1995; TAIZ & ZIEGER, 2004; FAGAN et al., 2007) são capazes de transformar o nitrogênio atmosférico (N₂) em nitrato (NH₃), forma nitrogenada prontamente assimilável para as plantas (XAVIER et al., s.d.).

Quando a enzima nitrogenase está ativa, o interior dos nódulos apresenta uma coloração rósea, que indica a presença de moléculas transportadoras de O₂, necessário para a respiração dos bacteróides (Figura 2) (XAVIER et al., s.d.).

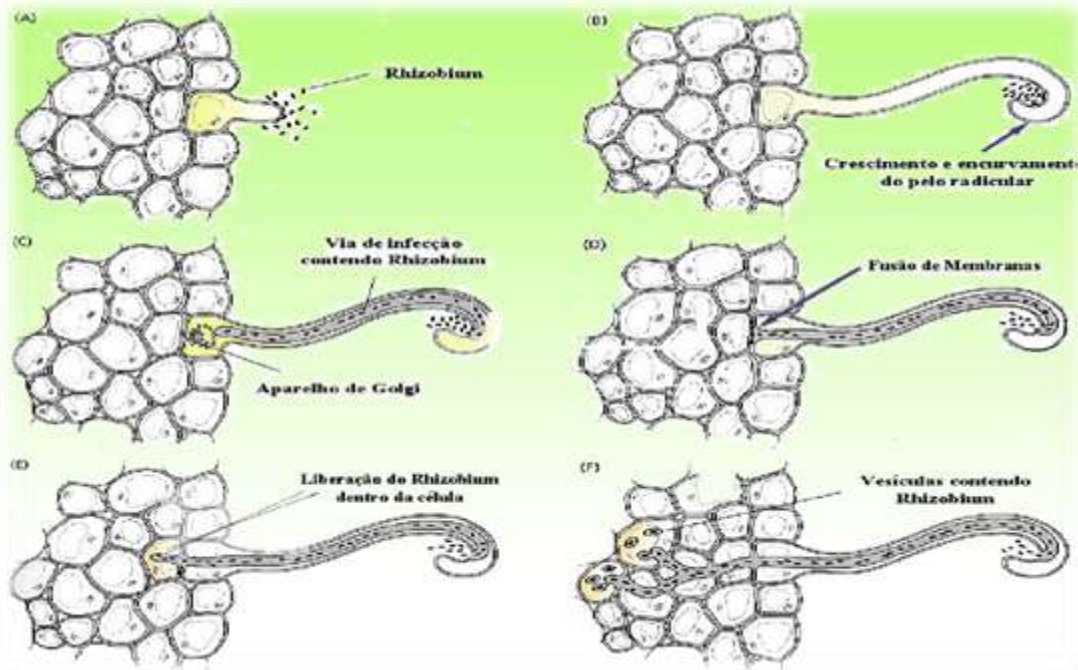


Figura 1: Processo de infecção da bactéria *Bradyrhizobium* em raízes de soja. Fonte: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>



Figura 2: Nódulos de soja em corte. Zona central fixadora vermelha devido ao pigmento da Leghemoglobina. Foto: Gregorio Tojilio, 2009.

E para que ocorra a FBN, é necessário que a nitrogenase se encontre em condições anaeróbias, pois os nódulos possuem uma heme proteína chamada de leghemoglobina que a planta produz em resposta à infecção da bactéria, tendo esta proteína, alta afinidade por O₂ (FAGAN et al., 2007), agindo como uma barreira de difusão de oxigênio no nódulo, protegendo o complexo enzima nitrogenase que é inativo pelo oxigênio (MYLONA et al., 1995; FAGAN et al., 2007).

Adubação Nitrogenada e FBN

A adubação mineral nitrogenada na soja requer cuidados especiais visando não prejudicar a FBN

(THOMAS & COSTA, 2010; ROCKENBACH & CAMPO, s.d.). No entanto, resultados obtidos em todas as regiões onde a soja é cultivada mostram que a aplicação de fertilizante nitrogenado na semeadura ou em cobertura em qualquer estágio de desenvolvimento da planta, em sistemas de semeadura direta ou convencional, além de reduzir a nodulação e a eficiência da FBN, não traz nenhum incremento de produtividade para a soja.

Porém, se as fórmulas de adubo que contêm nitrogênio forem mais econômicas do que as fórmulas sem nitrogênio, elas poderão ser utilizadas, desde que não sejam aplicados mais do que 20 kg de N/ha (EMBRAPA, 2000), tendo como um agravante na utilização dos fertilizantes

nitrogenados a baixa eficiência de sua utilização pelas plantas, raramente ultrapassando 50% (EMBRAPA, 2001; ROCKENBACH & CAMPO, s.d.). No caso de o produtor colocar 100 kg de N no solo, apenas 50 kg serão aproveitados pela planta, os outros 50 kg serão perdidos por lixiviação e transformados em formas gasosas. Além disso, deve-se considerar que o uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados resulta em poluição ambiental, pela lixiviação e escoamento deste nutriente pela superfície do solo (ROCKENBACH & CAMPO, s.d.). No trabalho de HUNGRIA et al. (2000), *apud* SILVA et al. (2011), a adição de 20 kg de N ha⁻¹ na semeadura, resultou em diminuição de 14% na nodulação, avaliada aos 30 dias, e queda de produtividade de 147 kg de grãos ha⁻¹.

Vários trabalhos buscam a maximização da eficiência simbiótica na interação entre plantas de soja e estirpes de *Bradyrhizobium*, visando à obtenção de incrementos na produtividade da cultura (CAMPOS; LANTMANN, 1998; ARAÚJO; HUNGRIA, 1999; MOREIRA; CARVALHO; EVANGELISTA, 1999; MERCANTE, 2006; SOUZA et al., 2008; BRANDELERO et al., 2009). BOHRER & HUNGRIA (1998), *apud* BRANDALERO et al. (2009), verificaram diferenças marcantes entre cultivares de soja quanto ao potencial de nodulação e fixação de nitrogênio, e constataram que a quantificação da massa seca da parte aérea é um bom parâmetro para a seleção das simbioses mais promissoras de soja.

E de acordo com SHENG & HARPER (1997), *apud* BRANDALERO et al. (2009), nos quais avaliaram o efeito da parte aérea e do sistema radicular sobre a nodulação de soja, constataram que as folhas são órgãos que dominam a regulação da produção de sinal para nodulação em soja. Um estudo semelhante, realizado por BRANDALERO et al. (2009), no qual avaliaram o efeito da nodulação no rendimento de grãos de soja onde as sementes foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* com a mistura proporcional das estirpes SEMIA 587 e SEMIA 5019, de nove cultivares de soja (Conquista (MG/BR46), Curió (MT/BR52), Celeste (BRS60), Liderança (MG/BRS66), Paiaguás (MT/BR45), Parecis (MT/BR50), Tucano (MT/BR53), Uirapurú (MT/BR55) e Rio Vermelho (EMGOPA315) nas condições edafoclimáticas do Recôncavo Baiano, constataram que as cultivares Curió, Conquista e Liderança, apresentaram os melhores desempenhos do rendimento de grãos nas condições agroecológicas estudadas, e que a nodulação tem estreita relação com o rendimento final de grãos entre as cultivares de soja estudadas.

Azospirillum

As bactérias promotoras de crescimento de plantas (BPCP) correspondem a um grupo de microrganismos benéficos às plantas devido à capacidade de colonizar a superfície das raízes, rizosfera, filosfera e tecidos internos das plantas (DAVISON, 1988; KLOPPER et al., 1989).

As BPCP podem estimular o crescimento das plantas por diversas maneiras, sendo as mais relevantes: capacidade de fixação biológica de nitrogênio, aumento na atividade da redutase do nitrato quando crescem endofiticamente nas plantas, produção de hormônios como auxinas, citocininas, giberilinas, etileno, solubilização de fosfato e por atuarem como agente de controle biológico de patógenos ((HUNDRIA, M. 2011).

Em geral, acredita-se que as BPCP beneficiam o crescimento das plantas por uma combinação de todos esses mecanismos (DOBBELAERE et al., 2003). O *Azospirillum* abrange um grupo de BPCP de vida livre que é encontrado em quase todos os lugares da terra, havendo relatos, também, de que as bactérias desse gênero podem ser endofíticas facultativas (DÖBEREINER & PEDROSA, 1987; HUERGO et al., 2008).

Bactérias do gênero *Azospirillum*, cuja as mais conhecidas são: *Azospirillum lipoferum* e *Azospirillum brasilense*, ganharam grande destaque mundialmente a partir da década de 1970 (DÖBEREINER & DAY, 1976; DOBEREINER et al., 1976), pela descoberta da pesquisadora da Embrapa, Dra. Johanna Döbereiner (1924-2000), sobre a capacidade de Fxação Biológica do Nitrogênio dessas bactérias quando em associação com gramíneas (HUNGRIA, M. 2011).

De acordo com HUNGRIA, M. (2011), o *Azospirillum* produz fitohormônios que estimulam o crescimento das raízes de diversas espécies de plantas, onde TIEN et al. (1979), puderam observar que os componentes responsáveis pelo estímulo do crescimento de raízes liberados pelo *A. brasilense* eram o ácido indol-acético (AIA), giberilinas e citocininas.

O maior desenvolvimento das raízes pela inoculação com *Azospirillum* pode implicar em vários outros efeitos como: incrementos na absorção da água e minerais, maior tolerância a estresses como salinidade e seca, resultando em uma planta mais vigorosa, produtiva e provavelmente, maior crescimento radicular e melhor nutrição das plantas, como também maior tolerância a agentes patogênicos de plantas (BASHAN & HOLGUIN, 1997; DOBBELAERE et al., 2001; BASHAN et al., 2004, CORREA et al., 2008, HUNGRIA, M. 2011).

De acordo com BARASSI et al. (2008), as respostas fisiológicas induzidas pelo *Azospirillum* proporcionam melhorias em parâmetros fotossintéticos das folhas, incluindo o teor de clorofila e condutância estomática, maior teor de prolina na parte aérea e raízes, melhoria no potencial hídrico, incremento no teor de água do apoplasto, maior elasticidade da parede celular, maior produção de biomassa e maior altura de plantas.

Vários trabalhos têm apontado resultados benéficos do *Azospirillum* em gramíneas (milho, trigo, arroz e também, em pastagens), como

aumento da produtividade e melhor desenvolvimento do sistema radicular, favorecendo uma absorção de água e nutrientes pelas plantas.

Coinoculação: *azospirillum* x *bradyrhizobium* na cultura da soja.

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) é de grande importância para a economia brasileira ocupando, no Brasil, o segundo lugar mundial em produção de soja. Este fato está relacionado a uma vantagem competitiva associada aos avanços científicos e à disponibilidade de tecnologias para o setor produtivo (HUNGRIA et al., 2005). Nesse contexto, a introdução de bactérias do gênero *Bradyrhizobium*, que provocam a Fixação Biológica do Nitrogênio (FBN), foi uma das grandes forças motrizes para o cultivo de soja em grande escala no Brasil (ZUFFO et al. 2014).

A FBN é um processo no qual o nitrogênio atmosférico (N₂) é convertido em amônia (NH₃), catalisada por organismos vivos. Os organismos responsáveis pela fixação de nitrogênio, denominados de diazotróficos são procaríotes e realizam a fixação por meio da enzima conhecida como nitrogenase. Essa enzima é sensível ao oxigênio, que pode destruí-la irreversivelmente. Essa reação é endergônica, isto é, a amônia é mais rica em energia que o nitrogênio atmosférico e, para que a reação ocorra, é necessário fornecimento de energia, armazenada na forma de ATP (SILVEIRA; FREITAS, 2007).

O uso de inoculantes contendo cepas de *Bradyrhizobium* spp. levou a uma economia anual de aproximada US \$ 3,2 bilhões em fertilizantes nitrogenados (FAGAN et al., 2007). Segundo HUNGRIA et al. (2006), *apud* ZUFFO et al. (2014), as quantidades de nitrogênio fixadas pela soja através da FBN foram relatadas em até 300 kg N ha⁻¹, suprimindo até 94% das necessidades da cultura. Neste contexto, outras tecnologias alternativas têm sido pesquisadas com vistas a melhores resultados produtivos para a cultura da soja, como por exemplo, a co-inoculação.

Segundo FERLINI (2006) e BÁRBARO et al. (2008), *apud* ZUFFO et al. (2014), esta consiste no uso de diferentes combinações de microrganismos que produzem um efeito sinérgico e quando utilizados, vão além dos resultados produtivos que se obtêm de maneira isolada. Bactérias do gênero *Azospirillum* proporcionam efeitos benéficos às plantas devido à sua capacidade de estimular a produção de hormônios vegetais em quantidades expressivas, o que resulta no crescimento das plantas, contudo, a o uso combinado de *Bradyrhizobium japonicum* e *Azospirillum brasilense* tem mostrado bom resultado em soja (BENINTENDE et al., 2010).

Estudos apontam para a eficiência da FBN na cultura da soja de acordo com a área de cultivo (FAGAN et al., 2007). Entretanto, os resultados obtidos da inoculação combinada em plantas leguminosas podem apresentar respostas

contraditórias, ou seja, estimular e inibir a formação de nódulos e o crescimento radicular em sistema simbiótico, variando em função do nível de concentração do inóculo e do tipo de inoculação (BARBARO et al., 2008).

De acordo com Pavanelli e Araújo (2009), no seu experimento a inoculação da soja cultivada nos solos sob cultivo de pastagens e culturas anuais, oriundos de sete municípios da região oeste paulista, apresentou incrementos de nodulação e fixação de N, esse dados corroboram como encontrados por Benintende et al. (2010), comparando o efeito dessa coinoculação, verificaram estimulação no crescimento, nodulação e acúmulo de nitrogênio. A coinoculação das bactérias nas sementes tem promovido incremento na produção vegetal, devido a maior fixação de nitrogênio pelos microrganismos.

Conclusão

Um dos principais fatores responsáveis pelo aumento da produtividade da cultura da soja é a inoculação da semente de soja que proporciona maior produtividade e rentabilidade da cultura da soja. Sendo assim uma técnica muito importante e indispensável para a produção de soja do Brasil é a inoculação da sementes de soja, por isso a importância do conhecimento desses métodos de inoculação para essa cultura.

Referências

AGRONOTÍCIAS MT. Embrapa lança novo inoculante líquido para soja. 2013. Disponível em: www.agronoticiasmt.com.br/noticias/embrapa-lanca-novo-inoculantes-liquido-para-soja.html. Acessado em: 01 de dezembro de 2013.

BENINTENDE, S. et al. Comparación entre coinoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense* e inoculación simple con *Bradyrhizobium japonicum* en la nodulación, crecimiento y acumulación de N en el cultivo de soja. *Agriscientia*, Córdoba, v. 27, n. 2, p. 71-77, 2010.

BRANDELERO, E. M.; PEIXOTO, C. P.; RALISCH, R. Nodulação de cultivares de soja e seus efeitos no rendimento de grãos. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina - PR. 2009.

CÂMARA, G. M. de S. (s.d.). Bases de fisiologia da cultura da soja. Piracicaba – SP. Disponível em: <http://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&sqi=2&ved=0CCsQFJAA&url=http%3A%2F%2Fwww.ipni.net%2Fppiweb%2Fpbrazil.nsf%2Fb2aaf15da221a95785256a6d006d7a23%2F2364d9f752603bcf83256c70005850b7%2F%24FILE%2FAnais%2520Gil%2520Miguel%2520de%2520Souza%2520C%25C3%25A2mara.doc&ei=L4aiUsriF_eehsQTOqIC4Bg&usq=AFQjCNGrHYsExvUHz44T_wedftqgGT80ow&sig2=HlhbFCItAEDDCyq2LgrDoA&bvm=bv.57752919,d.cWc>.

- CASTILHOS, D. D.; GUADAGNIN, C. A.; SILVA, M. DA. da; LEITZKE, V. W.; FERREIRA, L. H.; NUNES, M. C. Acúmulo de cromo e seus efeitos na fixação biológica de nitrogênio e absorção de nutrientes em soja. *Rev. Bras. de Agrociência*, v.7 n.2, p. 121-124. 2001.
- DIEHL, S. R. L. & JUNQUETTI, M. T. de G. (s.d.). Soja (*Glycine max*). Disponível em:< <http://www.agrobyte.com.br/soja.htm>.
- EMBRAPA SOJA (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias). Tecnologias de produção de soja região central do Brasil 2004. Embrapa. 2000.
- ENCICLOPÉDIA BIOSFERA, Centro Científico Conhecer - Goiânia, GO. 2011.
- FAGAN, E. B. et al. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja: revisão. *Revista da FZVA, Uruguaiana*, v. 14, n. 1, p. 89-106, 2007.
- FAGAN, E. B.; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; CASAROLI, D.; SIMON, J.; NETO, D. D.; LIER, Q. de J. v.; SANTOS, O. S.; MÜLLER, L. Fisiologia da fixação biológica do nitrogênio em soja. *Revista da FZVA. Uruguaiana*. 2007.
- FREIRE, J. R. J. & VERNETTI, F. de J. A pesquisa com soja, a seleção de rizóbios e a produção de inoculantes no Brasil. Artigo de revisão, 1997.
- FREITAS, M. de C. M. de. A cultura da soja no Brasil: o crescimento da produção brasileira e o surgimento de uma nova fronteira agrícola.
- GUALTER, R. M. R.; BODDEY, R. M.; RUMJANEK, N. G.; FREITAS, A. C. R. de.; XAVIER, G. R. . Eficiência agrônômica de estirpes de rizóbio em feijão-caupi cultivado na região da Pré-Amazônia maranhense. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília - DF. 2011.
<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2018/01/conab-producao-de-graos-na-safra-20172018-deve-ser-de-22795-milhoes-de-toneladas.html>.
- HUNGRIA, M.; CAMPOS, R. J.; MENDES, L. C. Fixação Biológica do Nitrogênio na Cultura da Soja. Londrina: Embrapa Soja. 2001. 48p.
- LIMA FILHO, R. R. de . CONAB revisou para cima a área plantada e a produção de soja no Brasil em 2013/2014. 2013. Disponível em:<<http://www.scotconsultoria.com.br/noticias/todas-noticias/32767/conab-revisou-para-cima-a-area-plantada-e-a-producao-de-soja-no-brasil-em-20132014.htm>. .
- LIMA, S. C.; LOPES, E. S.; LEMOS, E. G. M. Caracterização de rizóbios (*Bradyrhizobium japonicum*) e produtividade da soja. *Scientia Agricola*. Piracicaba. 1998.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do Estado Nutricional das Plantas. 2ª. Edição - Potafos. Piracicaba, SP. 1997, 3019p. Disponível em:< <http://www.solos.esalq.usp.br/coleta.htm>>.
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. Microbiologia e bioquímica do solo. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. 729 p.
- PAVANELLI, L. E.; ARAÚJO, F. F. D. Fixação biológica de nitrogênio em soja em solos cultivados com pastagens e culturas anuais do oeste paulista. *Bioscience Journal, Uberlândia*, v. 25, n. 1, p. 21-29, 2009.
- ROCKENBACH, A. P.; CAMPOS, B. C. de. (s.d.). Influência de diferentes doses de nitrogênio sobre nodulação e produtividade de grãos de soja. Seminário Interinstitucional de Ensino, Pesquisa e Extensão, XIII Amostra de Iniciação Científica e VIII Amostra de Extensão.
- SEMENTES PRODUTIVA. (s.d.). Sementes de Soja. Disponível em:< <http://www.sementesprodutiva.com.br/produtiva/public/index/produtos/controllers/index>>.
- SILVA, A. F. da; CARVALHO, M. C. de; SCHONINGER, E. L.; MONTEIRO, S.; CAIONE, G.; SANTOS, P. A. Doses de inoculante e nitrogênio na semeadura da soja em área de primeiro cultivo. *Biosci. J.*, Uberlândia. 2011.
- SOARES, R. A. Diferenças genômicas entre a estirpe *Bradyrhizobium elkanii* SEMIA 587 e a estirpe de referência *B. Japonicum* USDA 110. Dissertação de Mestrado. Porto Alegre - RS. 2009. Disponível em:< <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/17062>>.
- VARGAS, M. A. T. & HUNGRIA, M. Fixação de nitrogênio na cultura da soja. In: VARGAS, M. A. T. & HUNGRIA, M. *Biologia dos solos do Cerrado*. Planaltina – DF, ed. II. EMBRAPA-CPAC (Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados), 1997.
- XAVIER, G. R.; RUMJANEK, N. G.; GUEDES, R. E. (s.d.). Fixação biológica de nitrogênio. Disponível em:< http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao-caupi/arvore/CONTAG01_24_510200683536.html>.
- ZILLI, J. & MARSON, L. C. Inoculação de sementes de soja com *Bradyrhizobium*. 2011. Disponível em:< <http://www.grupocultivar.com.br/site/content/artigos/artigos.php?id=181>>.