

Foto: Fábio Martins Mercante



Estratégias para Aumentar a Eficiência de Inoculantes Microbianos na Cultura da Soja

Fábio Martins Mercante¹
Mariangela Hungria²
Iêda de Carvalho Mendes³
Fábio Bueno dos Reis Júnior⁴

O crescimento da produção e o aumento da capacidade competitiva da soja brasileira estão associados aos avanços científicos e à disponibilização de tecnologias ao setor produtivo. Neste contexto, o desenvolvimento de inoculantes com estirpes de bactérias fixadoras de nitrogênio selecionadas pela pesquisa e com elevada eficiência simbiótica, associado ao uso de cultivares de soja responsivas à inoculação e à melhoria na qualidade dos inoculantes produzidos, resultou na independência da cultura em relação aos fertilizantes nitrogenados, sendo fundamental para viabilizar economicamente a cultura da soja no País.

O processo de fixação biológica de nitrogênio resulta da transformação do nitrogênio atmosférico (N_2) em amônia (NH_3), intermediado pela enzima dinitrogenase, presente em determinados grupos de bactérias. No caso da soja, a simbiose ocorre com bactérias das espécies *Bradyrhizobium japonicum* e *Bradyrhizobium elkanii* (coletivamente chamadas de "rizóbio"). Essas bactérias são capazes de formar uma estrutura especializada (nódulo) nas raízes, onde captam o N_2 atmosférico, que

também ocupa os espaços porosos do solo e que, após a sua redução em formas assimiláveis, poderá então ser utilizado pela planta. Em troca, a planta fornece à bactéria energia obtida através da fotossíntese. Assim, forma-se uma perfeita associação, sendo planta e bactéria mutuamente favorecidas.

Contudo, a elevada demanda de N pela cultura da soja exige um funcionamento eficiente do sistema simbiótico com bactérias diazotróficas, capaz de garantir o suprimento desse nutriente nos diferentes estádios de desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, a obtenção de níveis elevados de produtividade.

A pesquisa brasileira vem produzindo trabalhos relevantes para permitir a maximização da eficiência simbiótica na interação entre soja e estirpes de rizóbio, visando à obtenção de incrementos na produtividade da cultura. Neste sentido, diversas estratégias devem ser consideradas para o alcance de tal objetivo. **Essas estratégias envolvem aspectos que visam maximizar a contribuição do processo de fixação biológica do nitrogênio:**

¹Eng.-Agrôn., Ph.D., pesquisador da Embrapa Agropecuária Oeste, Caixa Postal 661, 79804-970 Dourados, MS. E-mail: mercante@cpao.embrapa.br

²Enga.-Agrôn., Ph.D., pesquisadora da Embrapa Soja, Londrina, PR. E-mail: hungria@cnpsa.embrapa.br

³Enga.-Agrôn., Ph.D., pesquisadora da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. E-mail: mendesi@cpac.embrapa.br

⁴Eng.-Agrôn., Ph.D., pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina, DF. E-mail: fabio@cpac.embrapa.br

(a) inoculação em áreas de primeiro cultivo de soja - considerando que a soja não é uma cultura nativa do Brasil e a bactéria (rizóbio) que fixa o nitrogênio atmosférico nesta espécie, de modo eficaz, não existe naturalmente nos solos brasileiros, a inoculação destes rizóbios nas sementes de soja é indispensável. Como alguns fungicidas aplicados nas sementes podem reduzir a nodulação e a fixação biológica de nitrogênio na cultura da soja, o agricultor poderá optar pela utilização do dobro da dose de inoculante utilizado em cultivos tradicionais de soja. Nessas condições, a garantia de maior número de células viáveis das bactérias poderá resultar em maior nodulação, fixação biológica de nitrogênio e, conseqüentemente, maiores rendimentos da cultura;

(b) inoculação em áreas tradicionais de cultivo com soja - embora os sintomas de deficiência de N, na maioria dos casos, não sejam observados visualmente em áreas onde tradicionalmente se cultiva soja no Brasil, ainda que não tenha sido realizada a reinoculação, ganhos significativos no rendimento de grãos têm sido verificados nos anos em que a reinoculação é realizada. A deficiência de N, na maioria das vezes, não é percebida porque a população de rizóbios estabelecida nos solos é, em geral, bastante elevada (da ordem de 10^3 a 10^6 bactérias por grama de solo). Resultados de pesquisa obtidos nas principais regiões produtoras de soja no País, abrangendo diversos locais nas regiões Sul e Centro-Oeste, utilizando diferentes cultivares e diversos sistemas de manejo, indicaram incrementos no rendimento da cultura, em média, de 8% (Figura 1), quando se realiza a reinoculação de rizóbios.

Avaliações realizadas em Mato Grosso do Sul, nas últimas dez safras de soja (2000/2001 a 2009/2010), em áreas de cultivos tradicionais e com população elevada de rizóbios simbiotes da soja, mostraram que os ganhos de rendimento de grãos de soja com a reinoculação foram, em média, de 9,1% em relação às plantas que não haviam sido inoculadas nas mesmas safras consideradas (Figura 2). Este ganho potencial representou um saldo (positivo) de 2.754 kg ha⁻¹ de grãos, considerando as dez safras avaliadas.

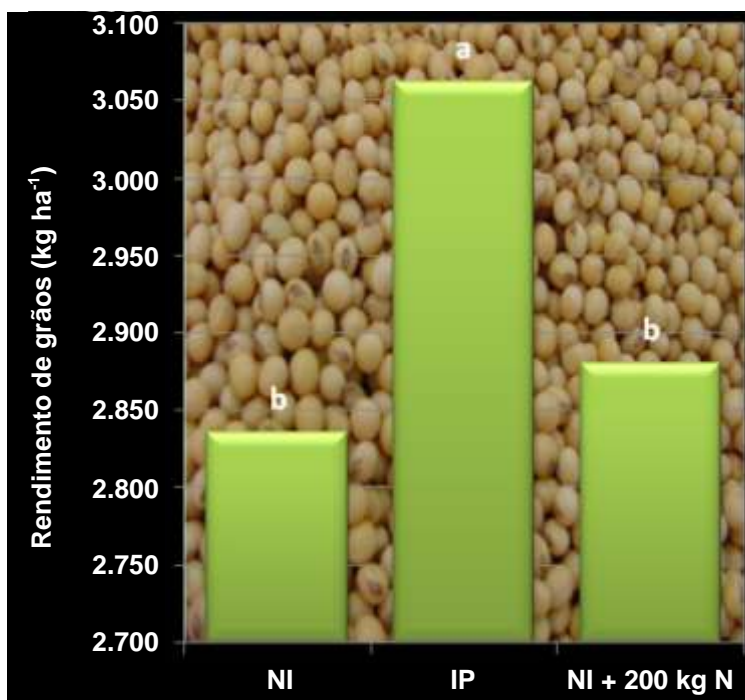


Figura 1. Rendimento médio de grãos de soja considerando 29 ensaios conduzidos em oito estados brasileiros, em solos tradicionalmente cultivados com soja e contendo 10^3 a 10^6 células de rizóbio/g solo. Foram considerados apenas ensaios com rendimentos superiores a 2.400 kg ha⁻¹ e foram obtidos incrementos de até 1.950 kg ha⁻¹ pela reinoculação. NI = não inoculado; IP = inoculação padrão. Letras diferentes sobre as barras indicam contraste pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

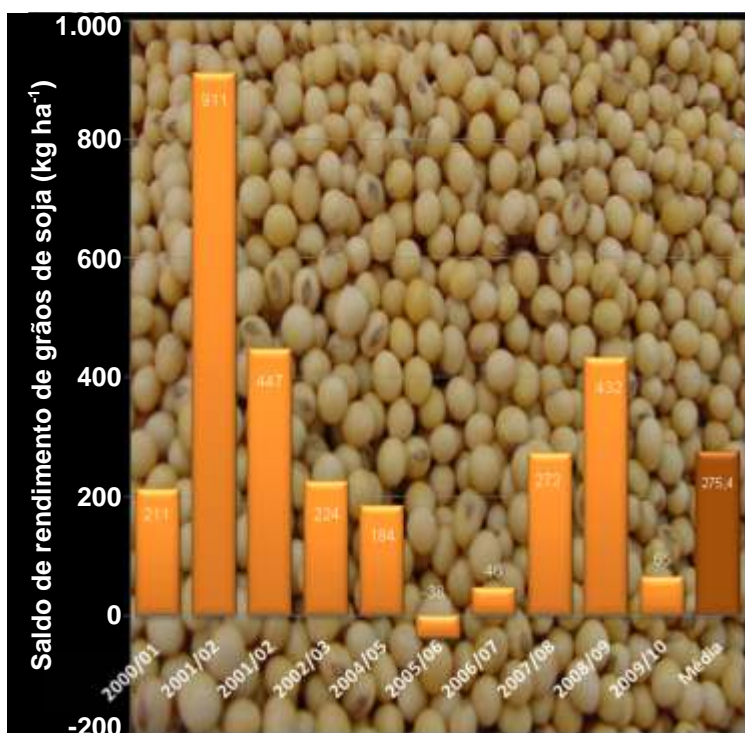


Figura 2. Ganho de rendimento de grãos de soja reinoculada com *Bradyrhizobium* em solos com população estabelecida, acima de 10^4 células/g solo, utilizando-se diferentes cultivares. Dourados, MS.

Os incrementos verificados na produtividade da cultura podem ser explicados sob vários aspectos: os rizóbios inoculados nas sementes de soja encontram-se mais ativos fisiologicamente do que aqueles que estão estabelecidos nos solos por inoculações em anos anteriores, propiciando nodulação mais precoce e abundante. A inoculação dos rizóbios nas sementes também favorece a maior ocorrência de nódulos na coroa da raiz principal, aumentando a eficiência da fixação de N_2 na fase inicial do crescimento das plantas, crítica para o bom estabelecimento das culturas. Estas observações reforçam a recomendação da prática da inoculação a cada cultivo de soja no Brasil;

(c) tratamento das sementes com fungicidas x inoculação de rizóbios - diversos estudos indicam a possibilidade de toxicidade de diferentes fungicidas às bactérias fixadoras de N_2 em sementes de soja e seus efeitos na nodulação das plantas e no rendimento de grãos da cultura (CAMPO et al., 2009; MERCANTE et al., 2007). Para evitar o agravamento desses efeitos negativos, não se recomenda a aplicação de fungicidas e/ou micronutrientes juntamente com o inoculante microbiano (a aplicação do inoculante deve ser a última operação a ser realizada). Tal efeito de toxicidade pode ser ainda reduzido pela aplicação do inoculante, por aspersão, no sulco de semeadura. Deve-se, contudo, salientar que esse procedimento poderá ser adotado, desde que se utilize, no mínimo, a dose estimada de 2,5 milhões de células por semente, portanto, superior à dose de inoculante recomendada para a aplicação direta nas sementes, de 1,2 milhões de células por semente (CAMPO et al., 2010). Outro procedimento para reduzir os efeitos negativos decorrentes da toxicidade pode ser obtido com vantagem numérica das bactérias, ou seja, aumentando a concentração de células bacterianas nas sementes de soja;

(d) aplicação dos micronutrientes cobalto (Co) e molibdênio (Mo) - os micronutrientes Co e Mo são essenciais ao processo de fixação de N_2 , desempenhando papéis específicos. O Mo é o elemento-chave contido na nitrogenase, responsável pela transferência final dos elétrons da redutase da nitrogenase para o N_2 , com a sua redução a $2 NH_3$, enquanto o Co tem efeito específico sobre o crescimento da bactéria e na formação da leghemoglobina. As recomendações técnicas atuais para aplicação destes nutrientes são de 2 a 3 g de Co ha^{-1} e de 12 a 30 g de Mo ha^{-1} , via semente, ou em pulverização foliar, nos estádios de desenvolvimento V3-V5. Contudo, deve-se mencionar que vários problemas têm sido detectados com a aplicação diretamente nas sementes de produtos contendo estes micronutrientes, devido a formulações salinas, ou com pH baixo, afetando drasticamente a

sobrevivência da bactéria, a nodulação e a eficiência do processo de fixação biológica de nitrogênio. Assim, para se evitar tais efeitos negativos, tem sido indicada a aplicação desses micronutrientes em pulverização foliar, no estádio V3-V5;

(e) adubação nitrogenada x fixação de N_2 - a disponibilidade de nitrogênio, pela presença de quaisquer fontes minerais, pode limitar o potencial de nodulação e de fixação de N_2 na interação *Bradyrhizobium*-soja, afetando desde o controle da produção de moléculas sinalizadoras produzidas pela planta, que irão atrair a bactéria para colonizar as raízes, até os processos de adesão da bactéria às raízes, infecção e desenvolvimento nodular, ou até mesmo reduzindo ou inibindo a atividade da enzima nitrogenase. Ensaios experimentais conduzidos em diversas regiões do País demonstraram que a adição de fertilizantes nitrogenados, em qualquer estádio de desenvolvimento das plantas, mostra-se desnecessária, devido ao fato de não contribuir para o aumento significativo da produtividade da cultura, além de prejudicar a nodulação e o processo de fixação de N_2 . Por isso, não se recomenda a adubação mineral nitrogenada em cultivos de soja no Brasil;

(f) sistemas de manejo da cultura - a redução dos estresses de temperatura e umidade no solo proporcionada pelo Sistema Plantio Direto (SPD) favorece a sobrevivência dos rizóbios nas sementes de soja e no solo, potencializando a nodulação e a fixação de N_2 . Em estudo conduzido em Mato Grosso do Sul foi verificada uma redução no acúmulo de N na planta no sistema convencional, quando comparado ao manejo em SPD. Nesse caso, com a incorporação dos resíduos (aração e gradagem) no sistema convencional, verificou-se um atraso no processo de fixação de N_2 , por inibição causada pela mineralização do N incorporado ao solo pelos resíduos;

(g) uso de substância adesiva para inoculante turfoso - a aderência dos inoculantes turfosos às sementes é favorecida pelo uso de substâncias que podem ser produzidas comercialmente ou elaboradas facilmente pelos agricultores, como goma arábica a 20% ou solução açucarada a 10%. Estudos constataram que o uso de solução açucarada a 10% não altera o vigor das sementes e nem provoca doenças nas mesmas.

Outros fatores nutricionais ou ambientais devem ser considerados para potencializar os benefícios do uso de inoculantes microbianos na cultura da soja. Entre os fatores nutricionais deve-se considerar as exigências elevadas da cultura, em geral, aos macronutrientes. Quanto à disponibilidade de fósforo (P), especialmente,

há um alto requerimento para a fixação biológica de N₂, que pode ser afetada drasticamente pela sua deficiência. Da mesma forma, a deficiência de cálcio (Ca) pode afetar o desenvolvimento da planta, o estabelecimento da bactéria e a interação planta-rizóbio. Fatores ambientais, como temperaturas elevadas do solo (principalmente superiores a 32°C) e estresse hídrico, considerados individualmente ou conjuntamente, afetam desde a sobrevivência da bactéria até as etapas da interação entre macro e microssimbiontes. Nesta situação, manejos do solo mais conservacionistas, como o SPD, são de extrema importância, pois contribuem significativamente para a redução da temperatura nas camadas mais superficiais, além de contribuírem para a manutenção da umidade do solo.

Considerações Finais

De modo geral, as estratégias para aumentar/potencializar a eficiência de inoculantes microbianos na cultura da soja incluem aspectos diretamente relacionados com o incremento da nodulação e do potencial simbiótico, como a reinoculação de rizóbios em cultivos tradicionais de soja, reforçando a recomendação da inoculação a cada cultivo de soja no Brasil, ou minimizando os fatores limitantes da nodulação e fixação biológica de nitrogênio. Entre tais fatores limitantes estão a adubação mineral nitrogenada, o efeito de toxicidade de fungicidas aplicados às sementes de soja e a deficiência dos micronutrientes cobalto e molibdênio. Deve-se, contudo, destacar que a utilização conjunta das práticas que potencializam a nodulação e a FBN e minimizam os fatores limitantes na interação entre macro e

microssimbiontes poderá resultar em incrementos significativos no rendimento de grãos da cultura da soja.

Referências

CAMPO, R. J.; ARAUJO, R. S.; HUNGRIA, M. Nitrogen fixation with the soybean crop in Brazil: compatibility between seed treatment with fungicides and bradyrhizobial inoculants. **Symbiosis**, Philadelphia, v. 48, n. 1/3, p. 154-163, 2009.

CAMPO, R. J.; ARAUJO, R. S.; MOSTASSO, F. L.; HUNGRIA, M. In-furrow inoculation of soybeans as alternative for fungicides and micronutrients seed treatment and inoculation. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 4, p. 1103-1112, 2010.

HUNGRIA, M.; CAMPO, R. J.; MENDES, I. C.; GRAHAM, P. H. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in South America. In: SINGH, R. P.; SHANKAR, N.; JAIWAL, P. K. (Ed.). **Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity**. Houston: Studium: LLC, 2006. p. 43-93.

MERCANTE, F. M.; COSTA, M. R.; KAWSKI, N. L.; TARASIUK, V. A.; GOULART, A. C. P. Sobrevivência de *Bradyrhizobium* spp. em sementes de soja tratadas com fungicidas e seus efeitos na nodulação das plantas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31., 2007, Gramado. **Conquistas e desafios da ciência do solo brasileira**. [Porto Alegre]: UFRGS Solos: SBCS, Núcleo Regional Sul, 2007.1 CD-ROM.

Comunicado Técnico, 169

Embrapa Agropecuária Oeste
Endereço: BR 163, km 253,6 - Caixa Postal 661
79804-970 Dourados, MS
Fone: (67) 3416-9700
Fax: (67) 3416-9721
E-mail: sac@cpao.embrapa.br

1ª edição
(2011): versão eletrônica

Ministério da
Agricultura, Pecuária
e Abastecimento



Comitê de Publicações

Presidente: *Guilherme Lafourcade Asmus*
Secretário-Executivo: *Alexandre Dinny's Roese*
Membros: *Claudio Lazzarotto, Eder Comunello, Milton Parron Padovan, Sílvia Mara Belloni e Walder Antonio Gomes de Albuquerque Nunes*
Membros suplentes: *Alceu Richetti e Oscar Fontão de Lima Filho*

Expediente

Supervisão editorial: *Eliete do Nascimento Ferreira*
Revisão de texto: *Eliete do Nascimento Ferreira*
Editoração eletrônica: *Eliete do Nascimento Ferreira*
Normalização bibliográfica: *Eli de Lourdes Vasconcelos*