

Nº 56, abr/1997, p.1-9.

IMPORTÂNCIA DO SISTEMA DE SEMEADURA DIRETA NA POPULAÇÃO MICROBIANA DO SOLO

Mariangela Hungria¹
 Diva de S. Andrade²
 Élcio Libório Balota³
 Arnaldo Colozzi-Filho⁴

1. INTRODUÇÃO

O solo é uma mistura complexa de materiais inorgânicos (rochas e minerais), matéria orgânica, água, ar e organismos vivos. Os componentes vivos do solo incluem a microfauna, que será abordada neste comunicado e a mesofauna, com os nematóides, oligoquetas, insetos, entre outros e cujos benefícios resultam da capacidade de movimentação mecânica do solo, aumentando a aeração e a redistribuição dos nutrientes, além de incrementar o teor de matéria orgânica (Wardle & Hungria, 1994).

De um modo geral, pode-se definir que um solo fértil é aquele que apresenta, em formas acessíveis às plantas, todos os nutrientes necessários ao seu crescimento, ou uma população microbiana capaz de liberá-los, rapidamente, para as plantas. A relevância da população microbiana reside na constatação de que, além de desempenhar um papel importante na gênese do solo, ainda atua, de modo decisivo, como regulador de nutrientes do solo. Isso ocorre porque os microrganismos funcionam como agentes reguladores da taxa de decomposição da matéria orgânica e da ciclagem dos elementos atuando, portanto, como fonte e dreno dos nutrientes necessários ao crescimento das plantas (Jenkinson & Ladd, 1981; Ladd *et al.*, 1985).

A importância dos microrganismos na disponibilidade de nutrientes pode ser exemplificada pelos resultados de uma avaliação realizada em um campo nativo do Rio Grande do Sul, onde a quantidade de nutrientes imobilizados pelos microrganismos foi calculada em 147 kg de nitrogênio (N), 114 kg de fósforo (P), 96 kg de potássio (K) e 14 kg de cálcio (Ca) (Cattelan & Vidor, 1990). Em condições ideais, a microbiota do solo permite que os nutrientes sejam, gradualmente, liberados para a nutrição das plantas, sem perdas por lixiviação. Por outro lado, o empobrecimento da microflora do solo prejudica a fixação temporária dos nutrientes, incrementando as suas perdas e resultando no empobrecimento do solo.

Em ecossistemas em clímax, a microbiota se encontra em equilíbrio com o solo, mantendo a sua biodiversidade e sustentabilidade, mas esse equilíbrio pode ser facilmente quebrado pelo homem ou por fenômenos naturais. O tipo de manejo agrícola praticado pelo homem é de grande importância, pois influenciará o equilíbrio existente entre o solo e os microrganismos. Desse modo, o uso de práticas conservacionistas, como as que permitem a cobertura vegetal do solo, a incorporação dos restos culturais, a adubação orgânica e o terraceamento, entre outros, podem resultar em

¹Eng^a Agr^a, Ph.D., Pesquisadora da Embrapa-Soja, Londrina, PR.

²Eng^a Agr^a, M.Sc., Pesquisadora do IAPAR, Londrina, PR.

³Biólogo, Ph.D., Pesquisador do IAPAR, Londrina, PR.

⁴Eng^o Agr^o, M.Sc., Pesquisador do IAPAR, Londrina, PR.

produtividade associada com qualidade e sustentabilidade. Ao contrário, a remoção de restos culturais da superfície do solo, as práticas que conduzem à lixiviação de nutrientes, acidificação e salinização ou a mudanças na estrutura do solo, resultam na degradação do solo, poluição do subsolo e impacto ambiental (Siqueira *et al.*, 1994). Alguns desses impactos ambientais afetam os microrganismos do solo e processos biológicos por períodos extremamente longos, podendo-se citar, como exemplo, que o efeito do desmatamento na biomassa microbiana do solo pode se estender por até 300 anos (Sims, 1989).

Cabe, portanto, aos agricultores, extensionistas e pesquisadores dar, ao solo, o melhor manejo possível, permitindo a manutenção da atividade microbiana e, conseqüentemente, os níveis de fertilidade do solo. Essas são as metas para atingir a sustentabilidade dos sistemas agrícolas, que pode ser definida como "o manejo adequado dos recursos para satisfazer as necessidades do homem, mas mantendo ou melhorando a qualidade do ambiente e os recursos naturais" (Bohlool *et al.*, 1992).

2. MICRORGANISMOS DO SOLO

Os microrganismos do solo, também chamados coletivamente de microbiota ou microflora, são representados pelas bactérias (incluindo os actinomicetos, às vezes considerados como um grupo distinto, pelas diferenças morfológicas marcantes em relação às bactérias), fungos, algas e protozoários. Apesar de constituírem somente 1% a 4% do carbono (C) total e menos de 5% do espaço poroso do solo, a diversidade e a quantidade dos microrganismos é bastante elevada. Em apenas 1 cm³ de solo sob pastagem, por exemplo, podem-se encontrar milhões de bactérias e fungos, milhares de protozoários e centenas de metros de hifas de fungos (Ritz *et al.*, 1994). Entretanto, como o solo é normalmente um ambiente estressante, limitado por nutrientes, somente 15% a 30% das bactérias e 10% dos fungos se encontram no estado ativo (Siqueira *et al.*, 1994; Wardle & Hungria, 1994). Os componentes microbianos vivos do solo são também denominados de biomassa microbiana e as

bactérias e fungos respondem por cerca de 90% da atividade microbiana do solo. Os números normalmente relatados, para cada classe de microrganismos, podem ser visualizados na TABELA 1.

3. MICRORGANISMOS DE IMPORTÂNCIA AGRÍCOLA

Os últimos anos se caracterizaram por um grande número de descobertas na área de microbiologia mas, mesmo assim, acredita-se que só foram identificadas, até hoje, cerca de 12% das espécies de bactérias e 5% das de fungos (Bull *et al.*, 1992). Dessas espécies identificadas, pouquíssimas foram estudadas quanto ao potencial de utilização para fins agrônômicos e, a seguir, serão citados os processos microbiológicos de maior importância agrícola de que se tem conhecimento até o momento:

3.1. Fixação simbiótica do nitrogênio

A grande importância do nitrogênio reside no fato de que esse elemento é um componente essencial das proteínas, ácidos nucleicos e outros compostos nitrogenados e, portanto, da vida de todos os seres vivos. A composição dos gases atmosféricos inclui quase 80% de nitrogênio na forma gasosa (N₂), mas, ironicamente, nenhum animal ou planta é capaz de utilizá-lo para o seu metabolismo, pois a tripla ligação que existe entre os dois átomos de N é uma das mais fortes de que se tem conhecimento na natureza. Desse modo, o processo industrial utilizado para a síntese de fertilizantes nitrogenados, a partir do N₂ atmosférico, necessita de elevadas pressões e temperaturas para quebrar essa ligação, resultando em um custo de seis barris de petróleo por cada tonelada de amônia produzida. Por outro lado, algumas bactérias da família *Rhizobiaceae* possuem um aparato enzimático, denominado nitrogenase, capaz de quebrar essa tripla ligação, formando a mesma amônia produzida industrialmente, mas sem o gasto de fontes energéticas não-renováveis. Essas bactérias se associam a diversas

TABELA 1. Densidade e biomassa total e proporcional de microrganismos do solo normalmente relatados na literatura.

Microrganismo	Densidade	Biomassa microbiana	
	(n° células/g solo)	(kg/ha)	(% da massa solo)
Bactérias	10 ⁶ a 10 ⁹	2600	0,10
Actinomicetos	10 ⁴ a 10 ⁸	220	0,01
Fungos	10 ³ a 10 ⁷	2000	0,01
Algas	10 ² a 10 ⁵	10	<0,01

Fonte: Siqueira *et al.* (1994).

CT/56, EMBRAPA-CNPSO, abril/97, p.3.

TABELA 2. Principais associações simbióticas entre rizóbios e plantas hospedeiras de importância econômica para o Brasil.

Espécie de bactéria	Hospedeiro representativo	Nome vulgar
<u>Gênero <i>Rhizobium</i></u>		
<i>R. leguminosarum</i> biovar <i>trifolii</i>	<i>Trifolium repens</i> , <i>Trifolium</i> spp.	trevos
<i>R. leguminosarum</i> biovar <i>phaseoli</i> , <i>R. tropici</i> , <i>R. etli</i>	<i>Phaseolus vulgaris</i>	feijão
<i>R. leguminosarum</i> biovar <i>viceae</i> lentilha	<i>Pisum sativum</i> , <i>Vicia sativa</i> , <i>V. faba</i> , <i>Lens culinaris</i>	ervilha, ervilhaca, fava, <i>Lens culinaris</i>
<u>Gênero <i>Mesorhizobium</i></u>		
<i>M. loti</i>	<i>Lotus corniculatus</i> , <i>Lupinus mutabilis</i>	cornichão, tremçoço
<u>Gênero <i>Sinorhizobium</i></u>		
<i>S. meliloti</i>	<i>Melilotus alba</i> , <i>Medicago sativa</i>	melilotu, alfafa
<u>Gênero <i>Azorhizobium</i></u>		
<i>A. caulinodans</i>	<i>Sesbania rostrata</i>	sesbania
<u>Gênero <i>Bradyrhizobium</i></u>		
<i>B. japonicum</i> , <i>B. elkanii</i>	<i>Glycine max</i>	soja
<i>Bradyrhizobium</i> spp.	<i>Arachis hypogaeae</i> , <i>Vigna unguiculata</i>	amendoim, caupi

leguminosas e algumas não-leguminosas, de um modo mais ou menos específico e formam estruturas altamente especializadas, os nódulos, onde o processo biológico ocorre (Hungria *et al.*, 1994). Na Tabela 2 estão listados os parceiros simbióticos de maior importância para as regiões tropicais e subtropicais.

Pode-se citar, entre as vantagens da fixação biológica do N₂ (FBN): 1) menor custo para o agricultor; 2) controle da poluição ambiental, causada pelo excesso de nitrato e nitrito nas águas e pelos altos níveis de nitrito no solo, que resultam na eutroficação de lagos e rios e em prejuízos à saúde humana, causando cancer, doenças respiratórias e anemia em crianças; 3) manutenção da fertilidade do solo pois, se a aplicação de fertilizantes nitrogenados for inviável economicamente, deixar de aplicá-los resulta no empobrecimento do solo (Keeney, 1982; Hungria *et al.*, 1994). Cabe, aqui, detalhar, um pouco mais, as duas simbioses de maior importância econômica para o Brasil, com as culturas da soja e do feijoeiro.

3.1.1. Simbiose com a soja

A soja é considerada uma das plantas cultivadas mais antigas do mundo e os relatos da literatura chinesa sobre a cultura datam de 2500 anos A.C. No Brasil, a soja foi introduzida em 1882, na Bahia, como *Soja hispida*, mas o cultivo foi impulsionado apenas a partir de 1940, na região Sul do país e, no início da década de 70, nos Cerrados; hoje, o Brasil é o segundo maior produtor mundial de soja. Desde a introdução dessa cultura no Brasil, foram conduzidos estudos sobre a simbiose, o que

resultou em que, hoje, se exclua o uso de fertilizantes nitrogenados da recomendação para a cultura, implicando em uma economia, para o país, de cerca de 1 bilhão de dólares por ano. Essa economia resulta da constatação de que, para alcançar produtividades de 2500 kg/ha, seriam necessários cerca de 200 kg de N/ha, dos quais cerca de dois terços seriam retirados, pelos grãos, da propriedade agrícola. Na ausência do processo biológico, seriam necessários, para suprir essa demanda da cultura, de 300 a 400 kg de N/ha, um custo certamente proibitivo para o agricultor (Hungria *et al.*, 1994).

Qualquer fonte de N mineral inibe o processo de FBN. A aplicação de adubos nitrogenados na cultura da soja, portanto, não é justificável, pois, em levantamentos de literatura, fica evidenciado que de 57% a 83% do N total acumulado pela soja são provenientes da FBN, havendo um decréscimo para 18% a 32% após a fertilização com 200 kg de N/ha, sem qualquer aumento na produtividade (Cattelan & Hungria, 1994). Em outro levantamento, de diversos trabalhos conduzidos no Brasil entre 1982 a 1994, incluindo estudos sobre “doses de arranque”, com 10, 20 e 30 kg de N/ha e mesmo doses mais elevadas, de até 400 kg de N/ha, evidenciou-se que a aplicação de fertilizantes nitrogenados não trouxe qualquer benefício em termos de produtividade (Hungria *et al.*, 1994). Mesmo em áreas recém-desbravadas dos Cerrados, onde são incorporadas grandes quantidades de resíduos vegetais (até 26 t/ha), com alta relação C/N, não se observaram respostas à aplicação de até 30 kg de N/ha, pois a incorporação desse material ao solo promove a imobilização do N mineral, através da atividade dos microrganismos, tornando muito baixo o suprimento desse nutriente às plantas (Vargas *et al.*, 1982a,b). O mesmo raciocínio é, portanto, válido para

CT/56, EMBRAPA-CNPSo, abril/97, p.4.

os resíduos de culturas deixados no sistema de semeadura direta.

3.1.2. Simbiose com o feijoeiro

Essa leguminosa é considerada a mais importante para a nutrição humana no mundo, pois participa da alimentação de cerca de 500 milhões de pessoas na América Latina e no leste e sul da África e, para cerca de 100 milhões de consumidores pobres, cuja dieta é baseada em amido, representa a única fonte protéica. Calcula-se que 40% da área plantada com feijoeiro na América Latina e 60% das áreas no Oriente Médio e África apresentam deficiência de N (Mariot, 1989; CIAT, 1990).

Estimativas das taxas de FBN em feijoeiro, obtidas em experimentos de campo conduzidos na América do Sul, América Central e África, variam de 4 a 124 kg de N/

1997). Como o feijoeiro não é considerado um hospedeiro eficiente para a FBN, uma dose inicial de N pode melhorar o crescimento das plantas, apresentando um efeito sinérgico e permitindo produtividades economicamente atraentes (Tsai *et al.*, 1993). As doses, porém, devem ser baixas, pois essa simbiose é extremamente sensível ao N mineral e as doses normalmente recomendadas, de 40 a 60 kg de N/ha, podem reduzir drasticamente a nodulação e a FBN (Graham, 1981; Vieira *et al.*, 1995). Ao comparar aplicações complementares de 10, 30 ou 50 kg de N/ha, Silva *et al.* (1993) observaram que a menor dose, aplicada após a emergência das plantas, resultou em incrementos na produtividade, enquanto a dose mais elevada, via foliar ou no solo, inibiu a nodulação e não aumentou, significativamente, a produtividade. Em outros experimentos, não foram constatadas diferenças entre o tratamento recebendo N mineral (até 75 kg de N/ha) e os tratamentos com algumas cultivares noduladas (Vargas *et al.*, 1991).

TABELA 3. Algumas estimativas de taxas de fixação biológica do nitrogênio em leguminosas de grãos, forrageiras e arbóreas.

Leguminosa	N ₂ fixado (kg de N/ha) ¹	Referência
<u>Leguminosas de grãos</u>		
Amendoim	68-150	Peoples & Craswell (1992)
Soja	60-312	Peoples & Craswell (1992) Hungria <i>et al.</i> (1994)
Feijoeiro	4-124	Hungria <i>et al.</i> (1997)
Caupi	28-201	Peoples & Craswell (1992)
<u>Leguminosas forrageiras</u>		
Calopogônio	64-182	Giller & Wilson (1991)
Centrosema	41-280	Giller & Wilson (1991)
Desmódio	64-380	Giller & Wilson (1991)
Siratro	46-167	Giller & Wilson (1991)
Estilosantes	20-263	Giller & Wilson (1991)
<u>Leguminosas arbóreas</u>		
Gliricídia	13-99	Peoples & Craswell (1992)
Leucena	100-300	Bohlool <i>et al.</i> (1992)
Sesbânia	83-286	Peoples & Craswell (1992)

¹ Durante o ciclo da cultura, para leguminosas anuais e durante um ano, para forrageiras e arbóreas.

ha, sendo maiores nas cultivares de ciclo longo. A inoculação das sementes, porém, é muitas vezes limitada, devido a características intrínsecas da planta, como a baixa capacidade de FBN de algumas cultivares e alta suscetibilidade aos estresses ambientais e ao ataque de pragas e doenças, além de características intrínsecas das estirpes do rizóbio, como baixa capacidade competitiva e baixa eficiência no processo de FBN (Hungria *et al.*,

Diversos estudos evidenciam que a soja, o feijão e outras leguminosas de importância econômica são capazes de apresentar taxas elevadas de FBN (TABELA 3). Fica cada vez mais evidente, também, que, para otimizar a nutrição nitrogenada e o rendimento dessas plantas, a solução não está na complementação com adubação nitrogenada, mas sim na utilização de inoculantes de boa qualidade, produzidos em veículos estéreis ou, pelo

CT/56, EMBRAPA-CNPSO, abril/97, p.5.

menos, desinfetados e com uma dose mínima de 10^8 células/g de inoculante.

3.2. Fixação associativa do nitrogênio

A fixação associativa do N_2 é um processo realizado por bactérias que se associam a diversas espécies de plantas, sem a formação de estruturas específicas, como os nódulos, para realizar o processo de FBN que, neste caso, é denominado de fixação não-simbiótica ou assimbiótica. De um modo geral, essas bactérias se estabelecem na rizosfera, mas também podem ser isoladas do interior de raízes e até mesmo do caule. A falta de estruturas específicas, como os nódulos, torna a fixação associativa mais suscetível aos fatores ambientais. Conseqüentemente, o manejo adequado do solo é essencial, quando se visa incrementar a contribuição do processo biológico. Algumas bactérias que têm sido estudadas com mais frequência pertencem às espécies *Azospirillum lipoferum*, *A. brasilense*, *Herbaspirillum seropedicae*, *Azotobacter paspali* e *Acetobacter diazotrophicus*, que apresentam ocorrência generalizada em gramíneas forrageiras e em outras monocotiledôneas de grãos, como trigo, milho e cana-de-açúcar. Pela suscetibilidade a fatores ambientais, a contribuição desses sistemas é inferior à que ocorre com as simbioses com rizóbio, situando-se entre 20 a 45 kg de N/ha (TABELA 4). Mas, como essas culturas ocupam vastas áreas, sua importância se torna relevante. Hoje, um relato de fixação associativa bem sucedida ocorre

organismos, inicia-se a decomposição microbiana, realizada por numerosos fungos e bactérias heterotróficas, em que as proteínas são quebradas a aminoácidos e, em um processo denominado desaminação, os grupos aminos dos aminoácidos são removidos e convertidos a amônia (NH_3). Essa liberação da amônia é chamada amonificação. Diversas condições do solo afetam o processo da formação da amônia que, por ser um gás, desaparece rapidamente, mas em solos úmidos é solubilizada na água, formando os íons amônio (NH_4^+), que são utilizados por bactérias e plantas para a síntese de aminoácidos. Na segunda etapa, a da nitrificação, os íons amônio são oxidados a nitrato. Essa etapa é realizada principalmente por bactérias autotróficas altamente específicas, que obtêm energia do processo, embora alguns grupos de microrganismos heterotróficos também tenham sido citados. No primeiro estágio da nitrificação algumas bactérias, particularmente do gênero *Nitrosomonas*, oxidam os íons amônio a nitritos (NO_2^-); outras bactérias que realizam esse processo pertencem aos gêneros *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosolobus* e *Nitrosobrio*. A seguir, bactérias como *Nitrobacter* oxidam os nitritos a nitratos (NO_3^-) (Andrade *et al.*, 1994). As plantas tendem a usar o nitrato como fonte de proteína, devido a sua mobilidade elevada no solo. O N tornado disponível às plantas, porém, pode ser perdido para a atmosfera, em um processo chamado de desnitrificação e realizado por diversas bactérias que, sob condições anaeróbicas, utilizam o nitrato como acceptor final de elétrons. Outros microrganismos atuam em ciclos geoquímicos importantes, como o do enxofre e dos micronutrientes (Siqueira *et al.*, 1994).

TABELA 4. Estimativas de fixação de N_2 por alguns microrganismos associativos.

Sistema associativo	N_2 fixado (kg N/ha)	Referência
Arroz	16-70	Roger & Ladha (1992)
Cana-de-açúcar	33-163	Urquiaga <i>et al.</i> (1989)

entre *Acetobacter diazotrophicus* e a cultura da cana-de-açúcar, onde pode haver a contribuição com até 160 kg de N_2 fixado/ha (Urquiaga *et al.*, 1989).

3.3. Decomposição da matéria orgânica

Diversas bactérias e fungos são responsáveis pelos processos de decomposição da matéria orgânica e, aqui, será enfatizado o processo de mineralização do N, que abrange duas etapas, a amonificação e a mineralização.

Quase todo o N do solo está sob a forma de moléculas orgânicas, particularmente proteínas. Com a morte dos

3.4. Micorrizas arbusculares

As micorrizas arbusculares são associações simbióticas formadas entre certos fungos do solo e as raízes da maioria das espécies vegetais, encontradas nos mais diversos ecossistemas, podendo ser classificadas como ectomicorrizas, endomicorrizas e ectendomicorrizas (Siqueira, 1994). Os fungos micorrízicos se associam às raízes de inúmeras espécies de plantas e aumentam a área de absorção das mesmas, facilitando a absorção de nutrientes, particularmente daqueles que apresentam baixa mobilidade no solo, como o fósforo. Afetam, também, a absorção de água, diminuindo os efeitos dos estresses hídricos. Os incrementos na produção de culturas anuais, devido à inoculação com fungos micorrízicos, variam de

CT/56, EMBRAPA-CNPSO, abril/97, p.6.

5% a 290%, enquanto que os benefícios para o crescimento ou produção de mudas pré-colonizadas e transplantadas variam de 50% a 8000%. Entretanto, a sua utilização para fins agrícolas ainda é restrita, pelas dificuldades de se conseguir o cultivo de fungos micorrízicos sob condições de laboratório. Diversos fatores ambientais afetam qualitativa e quantitativamente as micorrizas e a capacidade de um fungo de estimular o crescimento, conhecida como efetividade simbiótica, também é afetada por essas condições. A planta hospedeira, pelas suas características, varia quanto ao grau de benefício obtido pela associação com os fungos, o que é conhecido como "dependência micorrízica", definindo-se os graus como altamente dependentes, dependentes e não-dependentes. Culturas de grande importância econômica para o Brasil, como a soja, milho, feijoeiro, sorgo, tomateiro, seringueira e cacau são consideradas dependentes e outras, como a mandioca, citros, algodão, leguminosas tropicais, cebola, cafeeiro e pimenta-do-reino são altamente ou obrigatoriamente dependentes. Uma aplicação importante das micorrizas reside na sua utilização em programas de recuperação de solos degradados, pela utilização de mudas que, pelo maior desenvolvimento das raízes, permitem a sobrevivência sob condições adversas (Siqueira *et al.*, 1994).

4. MICROORGANISMOS EM SOLOS SOB SEMEADURA DIRETA

Esses microrganismos aqui citados, e diversos outros, são afetados pelo cultivo e manejo do solo, e a amplitude dessa variação depende das práticas culturais empregadas, como o preparo do solo, espécies vegetais empregadas, adubações e utilização de agrotóxicos.

Com o cultivo, as propriedades físicas do solo são alteradas, resultando na desagregação do solo e na diminuição dos macroporos, que são os principais habitats para os microrganismos. Ocorre, ainda, um decréscimo da cobertura vegetal e, conseqüentemente, do nível de matéria orgânica, que constitui um reservatório importante de nutrientes para os microrganismos, além de afetar a estabilidade dos agregados, o armazenamento de água e diminuir as oscilações de temperatura do solo. Como conseqüência, com a retirada da cobertura vegetal, constata-se um declínio geral na biomassa microbiana, resultante da falta dos nutrientes e de um microhabitat adequado para o seu desenvolvimento (Hungria *et al.*, 1995). Desse modo, o cultivo, de um modo geral, pode ser extremamente desfavorável aos microrganismos do solo, mas a semeadura direta (SD) tem mostrado ser uma prática que pode resultar em grandes benefícios a todos os microrganismos do solo, em comparação com o plantio convencional (PC) (Wardle & Hungria, 1994; Hungria *et al.*, 1995).

Um estudo detalhado comparando a microbiota do solo em sistema sob SD e PC foi realizado na Estação Experimental do Instituto Agrônomo do Paraná, na

região de Londrina, Paraná. A SD e o PC estavam sob os sistemas de rotação de cultura com soja/milho/trigo e as sucessões soja/trigo e milho/trigo, em um ensaio conduzido por 17 anos em um latossolo roxo distrófico. O solo não havia sido inoculado há diversos anos e as análises microbiológicas foram realizadas durante 14 meses, em sete épocas, retirando-se as amostras na profundidade de 0 a 15 cm.

A biomassa microbiana, nos solos sob SD foi superior, em 52%, à dos solos sob PC (TABELA 5), um valor expressivamente superior aos relatados em outros países, particularmente sob clima temperado, onde essa diferença fica ao redor de 10% (Wardle & Hungria, 1994). A superioridade da biomassa microbiana sob SD foi confirmada em todas as coletas.

Foram constatadas, ainda, diferenças, entre a SD e o PC, em grupos específicos de microrganismos. Não houve diferença nos amonificadores, provavelmente porque esse grupo inclui diversos microrganismos, mas foram detectadas diferenças significativas nos nitrificadores, que são os responsáveis pelo fornecimento de nitrato, que é a forma de N preferencialmente utilizada pelas plantas (TABELA 5). A população de *Azospirillum* spp. também tendeu, embora não diferindo estatisticamente, a ser superior nos solos sob SD (TABELA 5) independentemente do sistema de rotação ou sucessão de cultura (dados não mostrados). O número de esporos de fungos micorrízicos também foi superior na SD, sendo detectadas diferenças no número de esporos de fungos micorrízicos, como de *Gigaspora gigantea*, e esse número mais elevado indica, pelo menos, um maior potencial de infecção das raízes (dados não mostrados).

A SD também favoreceu a sobrevivência do rizóbio que nodula a soja, apresentando um número de células viáveis 140% superior ao do PC (TABELA 5). O teor de compostos fenólicos acumulados no solo também superou, em 14%, o dos solos sob PC. Algumas funções conhecidas para esses compostos fenólicos incluem o estímulo do crescimento de *Bradyrhizobium*, atividade quimiotática e, especialmente, a indução dos genes de nodulação do rizóbio responsáveis pelo início da nodulação, avaliada indiretamente pelo ensaio de atividade da β -galactosidase. Provavelmente pelo maior número de células e pelas condições mais favoráveis de temperatura e umidade, já foi constatado que a nodulação nos solos sob SD é superior (Voss & Sidiras, 1985). O maior benefício para os microrganismos resultou, ainda, da SD em sistemas de rotação ou sucessão em que a leguminosa participou pelo menos a cada dois anos (dados não mostrados).

Em outro experimento, conduzido com feijoeiro em SD ou PC, também foi constatado que a SD favoreceu a biomassa microbiana, a população de *Rhizobium* e o acúmulo de compostos fenólicos do solo, resultando em maior nodulação e produtividade (Hungria & Vargas, 1996) (TABELA 6).

CT/56, EMBRAPA-CNPSo, abril/97, p.7.

TABELA 5. Efeito da semeadura direta (SD) e do plantio convencional (PC) em diversos parâmetros microbiológicos. Experimento conduzido por 17 anos em um latossolo roxo distrófico da região de Londrina, PR.

Parâmetro	Sistema de plantio		CV (%)
	SD	PC	
Biomassa microbiana ² (µg N/g de solo)	51,26 a	33,64 b ¹	37,62
Microrganismos amonificadores (nº células x 10 ⁶ /g de solo)	1,12 a	1,05 a	7,75
Microrganismos nitrificadores (nº células x 10 ⁴ /g de solo)	5,25 a	4,47 b	15,96
<i>Azospirillum</i> spp. (nº células x 10 ⁴ /g de solo)	4,36 a	4,07 a	13,12
<i>B. japonicum</i> / <i>B. elkanii</i> (nº células x 10 ⁴ /g de solo)	7,24 a	3,02 b	20,24
Teor de compostos fenólicos (µg C/g de solo)	35,42 a	31,01 b	24,46
Atividade da β-galactosidase (U/g de solo)	52,91 a	30,00 b	27,18

¹ Médias de sete coletas, na profundidade de 0 a 15 cm, realizadas durante 14 meses, cada uma com seis repetições e valores seguidos pela mesma letra, na mesma linha, não diferem estatisticamente (Tukey, P≤0,05).

² Massas corrigidas para grama de solo seco.

Os microrganismos são beneficiados pela SD por diversas razões. Um fator importante reside nas menores oscilações térmicas e temperaturas máximas inferiores que ocorrem no SD em relação ao PC (Lal, 1993), refletindo

nos microrganismos de importância agrícola, que são termosensíveis. Como exemplo, acima de 33°C a FBN, em soja e feijoeiro, cai drasticamente, muitas vezes trazendo prejuízos irreversíveis aos nódulos (Hungria et

TABELA 6. Efeito da semeadura direta (SD) ou plantio convencional (PC) em alguns parâmetros microbiológicos e na produtividade do feijoeiro em um latossolo roxo distrófico da região de Londrina, PR.

Sistema de plantio	Biomassa microbiana ¹ (µg N/g solo)	<i>Rhizobium</i> spp. (cél./g solo)	β-galactosidase (U/g solo)	Nodulação (mg/planta)	Produtividade (kg/ha)
SD	55 a ²	3,9 x 10 ⁴ a	65 a	113 a	2324 a
PC	34 b	2,5 x 10 ³ b	40 b	80 b	1882 b
CV (%)	19	31	28	11	14

¹ Massas corrigidas para grama de solo seco.

² Médias de quatro repetições e, quando seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente (Tukey, P≤0,05).

Fonte: Hungria & Vargas (1996).

CT/56, EMBRAPA-CNPSO, abril/97, p.8.

al., 1994). Outro fator favorável na SD é a menor desagregação do solo, mantendo os macroporos (Santos, 1993), que são o principal hábitat dos microrganismos do solo. O teor de matéria orgânica também é superior na SD (Santos, 1993), particularmente nos primeiros centímetros do solo e, como resultado, tem-se a maior disponibilidade de nutrientes para os microrganismos e maior retenção de água do solo, também importante para a microbiota (Wardle & Hungria, 1994; Hungria *et al.*, 1995).

5. CONCLUSÃO

Dos resultados obtidos, até o presente momento, pode-se concluir que a semeadura direta favorece os microrganismos benéficos à agricultura, tais como as bactérias que fixam N₂ e o fungos micorrízicos, quando comparada com o plantio convencional.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, D.S.; MIYAZAWA, M.; HAMAKAWA, P.J. Microrganismos amonificadores e nitrificadores. In: HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. eds. **Manual de métodos empregados em estudos de microbiologia agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.355-367.
- BOHLOOL, B.B.; LADHA, J.K.; GARRITY, D.P.; GEORGE, T. Biological nitrogen fixation for sustainable agriculture: a perspective. **Plant and Soil**, v.141, p.1-11, 1992.
- BULL, A.T.; GOODFELLOW, M.; SLATER, J.H. Biodiversity as a source of innovation in biotechnology. **Annual Review of Microbiology**, v.46, p.219-252, 1992.
- CATTELAN, A.J.; HUNGRIA, M. Nitrogen nutrition and inoculation. In: FAO (Roma, Itália) **Tropical soybean - improvement and production**. Rome, 1994. p.201-215.
- CATTELAN, A.J.; VIDOR, C. Flutuações na biomassa, atividade e população microbiana do solo, em função das variações ambientais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.133-142, 1990.
- CIAT. **Research constraints provisionally identified by CIAT**. In: WORKSHOP ON ADVANCED *Phaseolus* BEANS RESEARCH NETWORK, 1990, Cali. Cali: CIAT, 1990. 30p. (impresso).
- GILLER, K.E.; WILSON, K.J. **Nitrogen fixation in tropical cropping systems**. Wallingford: CAB International, 1991. 312p.
- GRAHAM, P.H. Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L.: a review. **Field Crops Research**, v.4, p.93-112, 1981.
- HUNGRIA, M.; ANDRADE, D.S.; COLOZZI-FILHO, A.; BALOTA, E.L.; SANTOS, J.C.F. Ecologia microbiana em solos sob cultivo na Região Sul do Brasil. In: HUNGRIA, M.; BALOTA, E.L.; COLOZZI-FILHO, E.; ANDRADE, D.S. eds. **Microbiologia do solo: desafios para o Século XXI**. Londrina: IAPAR/EMBRAPA-CNPSO, 1995. p.234-270.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T. Exploring the microbial diversity and soil management practices to optimize the contribution of soil microorganisms to plant nutrition. In: STACEY, G.; MULLIN, B.; GRESSHOFF, P. eds. **Biology of plant-microbe interactions**. St. Paul: ISPMI, 1996. p.493-496.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; ARAUJO, R.S. Fixação biológica do nitrogênio no feijoeiro. In: VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. eds. **Biologia dos solos dos Cerrados**. Brasília: EMBRAPA-Cerrados, 1997. (no prelo).
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M.A.T.; SUHET, A.R.; PERES, J.R.R. Fixação biológica do nitrogênio em soja. In: ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. eds. **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.9-89.
- JENKINSON, D.S.; LADD, J.N. Microbial biomass in soils: measurement and turnover. In: PAUL, E.A.; LADD, J.N. eds. **Soil biochemistry**, 5. New York: Marcel Decker, 1981. p. 415-471.
- KEENEY, D. Nitrogen management for maximum efficiency and minimum pollution. In: STEVENSON, F.J. ed. **Nitrogen in agricultural soils**. Madison: ASA, 1982. p.605-649. (ASA. Agronomy monography, 22).
- LADD, J.N.; AMATO M.; OADES, J.M. Decomposition of plant material in Australian soils. III. Residual organic and microbial biomass C and N from isotope-labelled legume material and soil organic matter, decomposing under field conditions. **Australian Journal of Soil Research**, v.23, p.603-611, 1985.
- LAL, R. Role of no-till farming in sustainable agriculture in tropics. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO SOBRE PLANTIO DIRETO NA PEQUENA PROPRIEDADE, 1., 1993, Ponta Grossa. **Anais...** Ponta Grossa: IAPAR, 1993. p.29-62.
- MARIOT, E.J. Ecofisiologia do feijoeiro. In: IAPAR (Londrina, PR). **O feijão no Paraná**. Londrina, 1989. p.25-41. (IAPAR. Circular, 63).
- PEOPLES, M.B.; CRASWELL, E.T. Biological nitrogen fixation: investments, expectations and actual contributions to agriculture. **Plant and Soil**, v.141, p.13-39, 1992.

CT/56, EMBRAPA-CNPSO, abril/97, p.9.

- RITZ, K.; DIGHTON, J.; GILLER, K.E. **Beyond the biomass: compositional and functional analysis of soil microbial communities**. Chichester: J. Wiley, 1994. 275 p.
- ROGER, P.A.; LADHA, J.K. Biological N fixation in wetland rice fields: estimation and contribution to nitrogen balance. **Plant and Soil**, v.141, p.41-55, 1992.
- SANTOS, J.C.F. **Comportamento de propriedades físicas e químicas em dois latossolos roxos sob diferentes sistemas de rotação de cultura em plantio direto**. Lavras: ESAL, 1993. 101p. Dissertação Mestrado.
- SILVA, P.M.D.; TSAI, S.M.; BONETTI, R. Response to inoculation and N fertilization for increased yield and biological nitrogen fixation of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, v.152, p.123-130, 1993.
- SIMS, G.K. Biological degradation of soil. **Advances in Soil Science**, v.24, p.289-300, 1989.
- SIQUEIRA, J.O. Micorrizas arbusculares. In: ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. eds. **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p.151-194.
- SIQUEIRA, J.O.; MOREIRA, F.M. de S.; GRISI, B.M.; HUNGRIA, M.; ARAUJO, R.S. **Microrganismos e processos biológicos do solo: perspectiva ambiental**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 142p.
- TSAI, S.M.; BONETTI, R.; AGBALA, S.M.; ROSSETTO, R. Minimizing the effect of mineral nitrogen on biological nitrogen fixation in common bean by increasing nutrient levels. **Plant and Soil**, v.152, p.131-138, 1993.
- URQUIAGA, S.; BOTTEON, P.B.L.; BODDEY, R.M. Selection of sugar cane cultivars for associated biological nitrogen fixation using ¹⁵N-labelled soil. In: SKINNER, F.A.; BODDEY, R. M.; FENDRIK, I. eds. **Nitrogen fixation with non-legumes**. Dordrecht: Kluwer, 1989. p.311-319.
- VARGAS, A.A.T.; SILVEIRA, J.S.M.; ATHAYDE, J.T.; ATHAYDE, A.; PACOVA, B.E.V. Comparação entre genótipos de feijão quanto à capacidade nodulante e à produtividade com inoculação com rizóbios e/ou adubação de N-mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.267-272, 1991.
- VARGAS, M.A.T.; PERES, J.R.R.; SUHET, A.R. **Adubação nitrogenada e inoculação de soja em solos de cerrado**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1982a. 11p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 13).
- VARGAS, M.A.T.; PERES, J.R.R.; SUHET, A.R. Adubação nitrogenada, inoculação e épocas de calagem para a soja em um solo sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.17, p.1127-1132, 1982b.
- VIEIRA, R.F.; CARDOSO, E.J.B.N.; VIEIRA, C.; CASSINI, S.T.A. Foliar application of molybdenum in common beans. I. Nitrogenase and nitrate reductase activities in a soil of high fertility. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE AGRICULTURE FOR THE TROPICS - THE ROLE OF BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION, 1995, Angra dos Reis. **Abstracts...** [S.l.]: EMBRAPA-CNPBS, 1995. p.189-190.
- VOSS, M.; SIDIRAS, N. Nodulação da soja em plantio direto em comparação com plantio convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.20, p.775-782, 1985.
- WARDLE, D.A.; HUNGRIA, M. A biomassa microbiana do solo e sua importância nos ecossistemas terrestres. In: ARAUJO, R.S.; HUNGRIA, M. eds. **Microrganismos de importância agrícola**. Brasília: EMBRAPA-SPI. 1994. p.193-216.