

Capítulo 8

Insumos biológicos

Fabiano de Carvalho Balieiro

Ricardo Berbara

Sérgio Miana de Faria

Helvécio De-Polli

Avílio Antônio Franco

Entre as tecnologias usadas na agricultura, destaque deve ser dado ao uso dos insumos biológicos, expressão aqui utilizada para designar os materiais biológicos empregados para a obtenção de maior eficiência na exploração agrícola ou florestal, com reflexos positivos, tanto econômicos quanto ambientais. Os insumos biológicos compreendem organismos úteis e as variações de seus empregos, sendo o exemplo mais difundido o das bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico (BFN) denominadas bactérias diazotróficas. A inoculação dessas bactérias à soja transformou o País no segundo maior produtor mundial da oleaginosa, sem que para isso fosse necessária a aplicação do adubo nitrogenado, que é caro e danoso ao meio ambiente, quando usado sem uma boa recomendação.

As associações micorrízicas são também exemplos desses insumos, que ocorrem com a maior parte das plantas cultivadas e podem ser potencializadas em prol de uma agricultura ambientalmente mais

apropriada, na medida em que potencializa a captação, pela planta, por recursos do solo, como nutrientes (especialmente P e Zn) e água, além de oferecerem maior proteção às plantas a efeitos tóxicos de metais pesados.

Outros organismos têm sido estudados, mas os resultados ainda não permitem recomendações tão seguras, como é o caso dos organismos solubilizadores de fosfato (OSF) e os promotores de crescimento. No primeiro caso, pesquisas têm mostrado que bactérias do gênero *Penicillium*, *Aspergillus* e vários rizóbios podem acidificar o meio em que crescem, favorecendo a solubilização de formas insolúveis de P do solo. O avanço da pesquisa nessa área poderá possibilitar a inoculação de OSF, concomitante ao de BFN, e propiciar o uso de fontes menos solúveis e mais baratas, como fosfatos de rocha e termofosfatos. Outros organismos que trazem benefícios às plantas são os chamados promotores de crescimento. Entre os exemplos mais difundidos estão o uso do *Trycoderma* spp. no controle de *Rhizoctonia solani*, por efeito antibiótico e de melhora das condições nutricionais.

Biofertilizantes são fertilizantes, em sua maioria, líquidos muito utilizados na agricultura de base familiar. Também podem ser usados como exemplo de insumo biológico. Seu uso mais geral é por aplicação foliar, mas pode ser aplicado em substratos para a produção de mudas diversas. Sua obtenção é por meio da transformação aeróbica ou anaeróbica de soluções aquosas que contenham diversos tipos de material, como esterco bovino, torta de mamona, melaço, farinhas diversas, rochas fosfatadas e fontes de micronutrientes. Algumas formulações utilizam como inoculante a mistura de microrganismos, que são utilizadas principalmente em horticultura, fruticultura e na produção de mudas, como adubação complementar ou depois que as plantas sofrerem algum estresse. Biofertilizantes geralmente apresentam uma grande população e elevada diversidade de microrganismos, o que pode promover, além do efeito fertilizante, efeitos de controle fitossanitário e de promoção de crescimento. Os principais biofertilizantes utilizados no Estado do Rio de Janeiro são o Agrobio, desenvolvido pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro (Pesagro-Rio), e o Super-Magro, desenvolvido pela Emater do Estado do Rio Grande do Sul.

Este capítulo abordará as duas associações simbióticas mais estudadas – a que promove a fixação biológica do nitrogênio (FBN) e as

micorrizas –, buscando, na medida do possível, exemplos práticos de aplicação desses insumos na agricultura fluminense, como é caso dos adubos verdes.

8.1 Fixação biológica de nitrogênio (FBN)

8.1.1 FBN em leguminosas

As leguminosas constituem uma família de vegetais com espécies cultivadas que podem ser autossuficientes em nitrogênio, podendo enriquecer o solo após a colheita, com seus restos culturais.

Como produtoras de grãos tem-se: soja, feijão, feijão-macáçar (caupi), amendoim, ervilha, guandu, grão-de-bico e outras. Entre as forrageiras, destacam-se: estilosantes, siratro, centrosema, soja perene, leucena, *Desmodium*, soja Santa Maria, calopogônio, kudzu e *Galactia*. Para a adubação verde pode-se citar: a mucuna, a lablab, a crotalária, o feijão-de-porco, o feijão-bravo-do-ceará, a soja Santa Maria, as leucenas, entre outras. Não menos importantes são as leguminosas de arborização, reflorestamento, produção de forragem e sombreamento de culturas, tais como: acácias, sabiá, jacarandá, pau-brasil, sombreiro, gliricídia, leucena, pau-jacaré, albízia e orelha-de-negro.

A possibilidade de autossuficiência em nitrogênio dessas plantas é resultado da capacidade que elas têm de permitir a infecção das raízes por bactérias de diversos gêneros (*Allorhizobium*, *Azorhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Mesorhizobium*, *Rhizobium* e *Sinorhizobium*) e por novos gêneros, recentemente reconhecidos como nodulantes (*Blastobacter*, *Burkholderia*, *Devosia*, *Methylobacterium*, *Ochrobactrum*, *Ralstonia*, *Cupriavidus*), e formar uma estrutura especializada (nódulo), onde a planta e a bactéria sofrem modificações de estrutura e de metabolismo, estabelecendo-se, assim, uma das mais perfeitas associações conhecidas, ficando planta e bactéria mutuamente favorecidas. Nessa simbiose, a bactéria utiliza a resultante da fotossíntese da planta para, por meio de um sistema especializado de enzimas (nitrogenase), fixar o N_2 atmosférico, transformando-o em NH_3 , que é imediatamente transferido para fora do bacteroide (rizóbio desenvolvido). No hospedeiro, o amônio é incorporado ao ácido glutâmico, formando glutamina, ureídeos e asparagina, que são transportados para todas as regiões da planta.

É importante lembrar que, excluídas as reservas de salitre do Chile, não existe na natureza outra fonte natural de nitrogênio combinado. A produção de adubos nitrogenados é baseada, integralmente, na conversão do N_2 atmosférico em amônio, por um processo químico, que consome muita energia. Dessa forma, a FBN é, sem sombra de dúvida, a melhor alternativa para a reposição de reservas orgânicas de N no solo das propriedades rurais.

8.1.2 Inoculante com bactéria diazotrófica

O inoculante para leguminosas contém a cultura de bactérias diazotróficas em um veículo, geralmente turfa, porém, em regiões de plantio de soja em larga escala, um veículo bastante utilizado é o óleo mineral. O processo tecnicamente viável e mais prático na produção de inoculante consiste em desenvolver a bactéria em meio de cultura puro, e depois misturá-lo à turfa previamente neutralizada com calcário e de preferência esterilizada por radiação gama. No Estado do Rio de Janeiro, as estirpes das bactérias, antes de serem recomendadas para a produção de inoculantes, sofrem um processo exaustivo de seleção nos laboratórios de pesquisa da Embrapa Agrobiologia. Esses e outros laboratórios fornecem anualmente essas estirpes aos fabricantes de inoculantes credenciados pelo Ministério da Agricultura.

O inoculante deve ser guardado, de preferência, em geladeira ou local fresco protegido do sol, até o momento do uso, podendo, nessas condições, manter as especificações técnicas exigidas por lei: mínimo de 10^7 bactérias por grama de inoculante úmido, até a data de vencimento. No mercado, são encontradas embalagens de saco de plástico, em unidades de 100 g ou 200 g. No Estado do Rio de Janeiro, a Embrapa Agrobiologia, localizada em Seropédica, produz e comercializa inoculantes para as principais culturas comerciais e de adubos verdes.

8.1.3 Escarificação das sementes

Leguminosas com sementes duras, especialmente espécies forrageiras e algumas leguminosas arbóreas, geralmente necessitam de escarificação. Para saber a necessidade e o procedimento, consultar bibliografia específica.

8.1.4 Inoculação das sementes

A inoculação tem por finalidade colocar, junto à semente recém-germinada, uma elevada população de bactérias diazotróficas específicas e comprovadamente capazes de nodular e estabelecer uma simbiose com a planta formada.

8.1.4.1 Inoculação

Usar a quantidade de inoculantes e sementes recomendadas na embalagem do próprio inoculante ou conforme orientação do fabricante. De forma generalizada pode-se adotar o seguinte procedimento: misturar 200 mL (ou um copo pequeno) de água potável com 200 g de inoculante, até formar uma pasta homogênea. Depois misturar essa pasta com as sementes até que todas elas apresentem uma camada uniforme de inoculante envolvendo-as. Espalhar e deixar secar em lugar sombreado, fresco e arejado, por no máximo 24 horas antes do plantio.

8.1.4.2 Inoculação e revestimento das sementes com outros materiais

Peletização

Esse é o processo mais adequado de inoculação, pois, além de melhorar a sobrevivência da bactéria desde a inoculação até ao plantio, protege a plântula e a bactéria da acidez do solo e dos adubos. No preparo do revestimento, pode-se juntar micronutrientes, que, dessa forma, são posicionados estrategicamente junto à planta para serem mais bem aproveitados.

O processo consiste em inocular as sementes agregando um adesivo sem constituintes tóxicos e não ácidos – goma arábica, metofas ou gomas caseiras preparadas com polvilho de araruta, ou polvilho de mandioca, ou farinha de trigo (FARIA et al., 1984) (Tabela 1) –, recobrando depois as sementes com uma camada de calcário misturado com micronutrientes (ex.: calcário misturado com FTE em partes iguais). Na Tabela 1, é apresentada a quantidade de materiais a ser usada conforme o tamanho das sementes.

Tabela 1. Material usado na inoculação e no revestimento das sementes.

Leguminosas	Goma arábica 40% ou goma caseira 7% até 1 L⁽¹⁾	Inoculante (g)	Semente (kg)	Calcário ou calcário + micronutrientes (FTE) (1:1)⁽²⁾ (kg)
Sementes grandes Soja, feijão, caupi, amendoim, guandu, ervilha, fava, etc.	1	200	50	10
Sementes médias Calopogônio, leucena, soja perene, siratro, centrosema, etc.	1	200	20	16
Sementes pequenas Estilosantes, <i>Desmodium</i> , <i>Lotonis</i> , etc.	1	200	10	20

⁽¹⁾ Pesar 400 g de goma arábica, diluir em água potável morna e completar o volume até 1 L, ou pesar 70 g de polvilho de araruta, ou polvilho de mandioca, ou farinha de trigo, e diluir em água potável. Completar o volume até 1 L, e aquecer até dissolver. Depois de esfriar, guardar em geladeira até o momento do uso. Uma quantidade de goma, calcário e micronutrientes de até cinco vezes as constantes desta tabela pode ser usada para aumentar a quantidade de material a ser aderido.

⁽²⁾ Usar calcário o mais fino possível (que passe em peneira de 300 mesh), puro ou misturado em partes iguais aos micronutrientes (FTE). Não usar cal virgem.

Fonte: Faria et al. (1984).

O procedimento consiste em juntar o adesivo ao inoculante e misturar até formar uma pasta uniforme. Depois, juntar essa pasta às sementes e misturar até elas ficarem uniformemente cobertas pela pasta. A seguir, adicionar, de uma só vez, o calcário, calcário + micronutrientes (FTE), misturando com cuidado para formar agregados ou remover o material aderido às sementes. Esse procedimento pode ser feito sobre um plástico estendido, ou sobre uma área cimentada, ou, então, de preferência, em um tambor de eixo descentralizado, ou betoneira (DE-POLLI; FRANCO, 1985).

As sementes inoculadas e revestidas, quando guardadas em local fresco, arejado e sombreado, podem ser mantidas durante uma semana antes do plantio, quando utilizada a goma arábica; entretanto, é indicado plantar logo após a inoculação.

O uso de querosene e óleo diesel não é aconselhável. O uso de solução açucarada (10%) tem sido preconizado por alguns pesquisadores, mas em casos de seca pode acarretar problemas para a germinação das sementes e a nodulação das plantas.

As prováveis causas de insucesso no preparo do revestimento são:

- Revestimento fofo indica excesso de calcário ou de fosfato de rocha, mistura malfeita ou ambos.
- Sementes emplastradas, com partes visíveis, resultam de grande excesso de adesivo; para corrigir, adicionar mais calcário ou fosfato de rocha.
- Formação de aglomerados de sementes pode ser causada por excesso de adesivo e, principalmente, por adição parcelada de calcário; ocorre geralmente com sementes pequenas.

8.1.4.3 Causas prováveis de insucesso da inoculação

Alguns fatores que podem responder pelo insucesso da inoculação são relacionados a seguir:

- O solo contém suficiente nitrogênio mineral – nesse caso, não é necessária a inoculação, nem adubação com N mineral.
- O inoculante é de má qualidade, não é específico, ou não foi transportado ou estocado em condições adequadas – o inoculante nunca deve ficar exposto ao sol; de preferência, deve ser mantido em geladeira.
- A semente inoculada não foi manejada convenientemente – como o inoculante, sementes inoculadas não devem ficar expostas ao sol e ao calor; ao serem semeadas, devem ser cobertas imediatamente com solo.
- Há toxicidade de Mn e Al prejudicando a simbiose – nesse caso, é indispensável uma calagem do solo para eliminar a toxicidade.
- Deficiência de fósforo ou molibdênio – essa deficiência pode invalidar a inoculação.
- Plantio de sementes inoculadas em solo seco.

Vale comentar que a inoculação de sementes de leguminosas com bactérias diazotróficas é uma prática de comprovada eficiência. Mesmo quando o solo possui uma população razoável da bactéria, a inoculação pode ser efetuada, para garantir uma boa nodulação inicial e garantir o benefício da simbiose. Em condições adversas, é aconselhável usar até quatro vezes mais inoculantes do que a dose recomendada. O custo da inoculação é praticamente nulo quando comparado com a adubação nitrogenada, propiciando substancial economia para o agricultor.

8.1.4.4 Cuidados na inoculação, manuseio e plantio das sementes

Alguns cuidados podem aumentar o êxito da inoculação:

- Não usar inoculante vencido (no pacote consta a data de vencimento).
- Espalhar bem e rapidamente as sementes após a inoculação, para evitar o entumescimento e o início do processo de germinação, principalmente se as condições do solo não estiverem ótimas para que o processo tenha continuidade.
- Não expor as sementes inoculadas ao sol e a altas temperaturas, cobrindo-as com solo imediatamente após o plantio.
- Não plantar sementes inoculadas em solo seco.

Outros agrotóxicos, que apresentam maior ou menor toxicidade, são relacionados por De-Polli e Franco (1985) e De-Polli et al. (1986). Quando a aplicação de agrotóxicos incompatíveis com a bactéria for inevitável, uma boa solução será inocular sementes não viáveis ou outras partículas de tamanho e peso semelhantes e plantar juntamente com as sementes viáveis tratadas com o produto tóxico. Outra opção é usar inoculante líquido ou granular aplicado ao solo no sulco de plantio.

Vale ressaltar que dificilmente será obtida resposta à inoculação sem que sejam corrigidas as deficiências dos demais nutrientes, principalmente de P, Ca e Mo (20 g Mo ha^{-1}), e eliminada a toxidez de Al e Mn. De maneira geral, leguminosas respondem à calagem e à adubação fosfatada, sendo o mais indicado adubar conforme análise de terra (ver recomendação na seção apropriada para a cultura, neste manual, Capítulo 14).

8.1.4.5 Obtenção de inoculantes

A Embrapa Agrobiologia fornece pequenas quantidades de inoculantes para fins experimentais e para demonstração, ou para leguminosas sem inoculantes disponíveis no mercado, desde que solicitadas com pelo menos 20 dias de antecedência. Várias firmas atuantes no mercado produzem inoculantes para as principais culturas e forrageiras.

8.2 Fungos micorrízicos arbusculares (FMA)

Em condições naturais, a maioria das espécies de plantas está associada a determinados fungos de solo, numa simbiose mutualística, conhecida como micorriza (do grego *mico* [fungo] e *riza* [raiz]).

A associação micorrízica é expressão de um evento mutuamente benéfico: a planta supre o fungo com produtos da fotossíntese, e o fungo, por sua vez, fornece à planta nutrientes minerais. A simbiose é possível graças ao fato de o fungo produzir estruturas denominadas hifas, intra e extrarradiculares, capazes de captar elementos minerais do solo (especialmente os de baixa mobilidade) e transferi-los ao ambiente radicular, onde são absorvidos. No espaço intrarradicular, a troca bidirecional ocorre principalmente em uma estrutura presente no córtex radicular, similar a um haustório excessivamente ramificado, denominado arbúsculo. Arbúsculos são estruturas formadas pela interação de hifas de fungos MA e a plasmalema de algumas células do córtex. Essas estruturas são consideradas “chave” para o desenvolvimento da simbiose micorrízica, e sua formação depende da interação genética e funcional dos simbiossitos (BERBARA et al., 2006; HARRISON 1999). Depois de penetrar a parede celular, a hifa torna-se extremamente fina, com diâmetro menor que 1 µm, e ramifica-se profusamente, formando uma matriz de troca com a plasmalema da célula vegetal, sem, entretanto, ultrapassá-la. Como consequência, aumenta-se maciçamente a superfície de contato entre as membranas dos simbiossitos, permitindo uma eficiente troca de sinais, nutrientes e compostos orgânicos entre a planta e o fungo.

As hifas extrarradiculares, por sua vez, são mais eficientes que as raízes na captura de nutrientes, por serem estruturas extremamente

longas e finas (Figura 1). Em associações arbusculares, as hifas podem se estender por vários decímetros da superfície da raiz (enquanto a extensão média das radicelas é de 1 mm a 2 mm). Por serem finas – têm cerca de 2 μm de diâmetro –, as hifas arbusculares podem explorar volumes do solo inatingíveis por estruturas radiculares (pelos radiculares apresentam valores de 10 μm a 20 μm de diâmetro e raízes secundárias de 100 μm a 500 μm). Portanto, hifas são capazes de absorver os elementos minerais como uma raiz, mas de maneira mais eficiente.

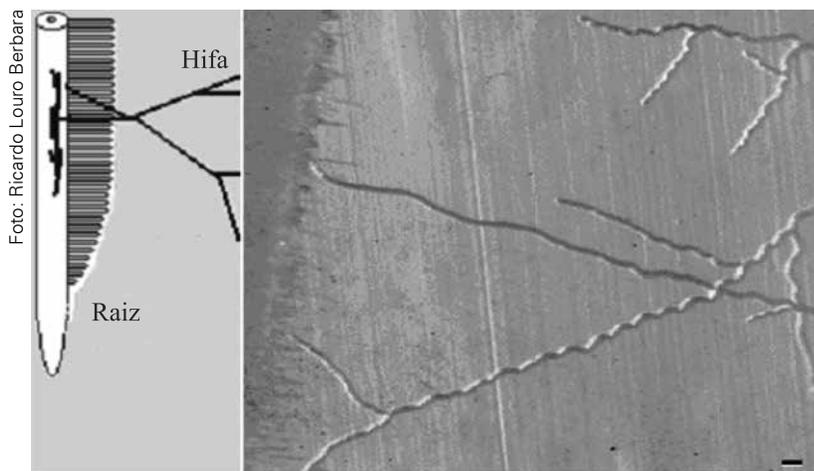


Figura 1. Fotografia e diagrama de hifas extrarradiculares penetrando em raiz de trevo. Compare a dimensão da hifa com a do pelo radicular. Barra: 1 mm.

A sustentabilidade da produção agrícola está ligada aos efeitos benéficos das micorrizas sobre a nutrição de plantas, principalmente com relação à absorção de fósforo, que é um recurso natural não renovável. Além disso, as espécies vegetais tropicais se beneficiam das micorrizas nativas presentes nos solos. Várias espécies de plantas respondem positivamente à inoculação com fungos MA, entre elas o café, a soja, o milho, a batata-doce, a mandioca, a cana-de-açúcar, além de diversas essências florestais e frutíferas brasileiras (Figura 2).



Foto: Ming-Fuh Chuang

Figura 2. Resposta de inoculação com FMAs em solo sem adição de fertilizante fosfatado em plantas de citros. Vasos da direita inoculados e os da esquerda, não inoculados.

A contribuição dos fungos MA para a nutrição fosfatada de plantas está amplamente aceita e documentada na literatura nacional e internacional. As hifas de fungos MA frequentemente interconectam o sistema radicular de plantas vizinhas da mesma espécie ou de espécies distintas. A maioria das plantas está interligada por uma rede de hifas micorrízicas comum, durante alguma fase do seu ciclo de vida (NEWMAN, 1988).

Quanto aos mecanismos de absorção e mobilização de nutrientes, da mesma forma, FMA são ainda mais eficientes que raízes.

As poucas espécies de plantas que não desenvolvem MA apresentam um sistema radicular bem desenvolvido, com muitas raízes finas e pelos radiculares. Apesar disso, são plantas ruderais que se desenvolvem, em geral, em solos com altos níveis de nutrientes disponíveis, mas apresentam baixa competitividade em solos pobres em fósforo. A colonização nessas plantas é inibida por causa da incompatibilidade genética, que impede o fungo de ultrapassar as primeiras

camadas radiculares. Provavelmente, existem dificuldades estruturais, ou defesas químicas, que impedem a colonização, já que o fungo consegue produzir haustórios. São exemplos disso as famílias *Juncaceae*, *Caryophyllaceae* e *Brassicaceae*.

É importante mencionar que a dependência micorrízica de uma planta varia conforme a espécie de fungo inoculada, e, para uma mesma planta, a resposta pode variar desde levemente negativa até altamente positiva (SIEVERDING, 1991). Assim, por parte da planta, existem exceções quanto ao mutualismo da simbiose. Portanto, *stricto sensu*, micorizas são associações simbióticas, porém, nem todas são mutualistas.

É mais frequente dar ênfase à nutrição fosfatada por conta do seu maior impacto sobre plantas hospedeiras, apesar de estudos com inoculação com FMA também ocasionarem aumento, tanto na taxa de crescimento quanto nos teores de Cu, Mg e Zn (não por acaso, todos são elementos pouco móveis no solo). Fósforo é um nutriente presente em baixas concentrações na solução do solo, normalmente em níveis inferiores a 1 μM de fósforo disponível, e pouco móvel em solos intemperizados. É nessas condições que as MA assumem um papel determinante na sobrevivência de diversas espécies vegetais, incapazes de mobilizar esse elemento. Como a taxa de absorção e transporte de fósforo inorgânico (Pi) por raízes é maior que sua taxa de difusão no solo, uma zona de depleção é formada, resultando em uma zona de esgotamento para esse elemento no ambiente rizosférico. Dessa forma, a planta, em sua evolução, desenvolveu mecanismos de captura desse elemento para além dessa zona, por meio das MA (Figura 3).

O aumento da taxa de absorção do P propiciado pelas MA pode ser atribuído às seguintes causas:

- O aumento do volume de solo explorado pelas hifas extrarradiculares do fungo arbuscular.
- O pequeno diâmetro da hifa, o que a permite explorar espaços do volume do solo inatingíveis pela raiz.
- Maiores taxas de influxo por unidade de superfície.
- A formação de polifosfatos, moléculas orgânicas sintetizadas pelo fungo AM, ricas em P, as quais acarretam a diminuição da concentração de P inorgânico no interior das hifas, com o

concomitante acúmulo de P em condições de alta disponibilidade desse elemento. Com sua remobilização em condições de estresse, permite um fluxo contínuo ao hospedeiro.

- Produção de enzimas como fosfatases que catalisam a liberação de P dos complexos orgânicos, permitindo sua absorção, na forma iônica, pelas plantas, nas unidades arbusculares (BERBARA et al., 2006).

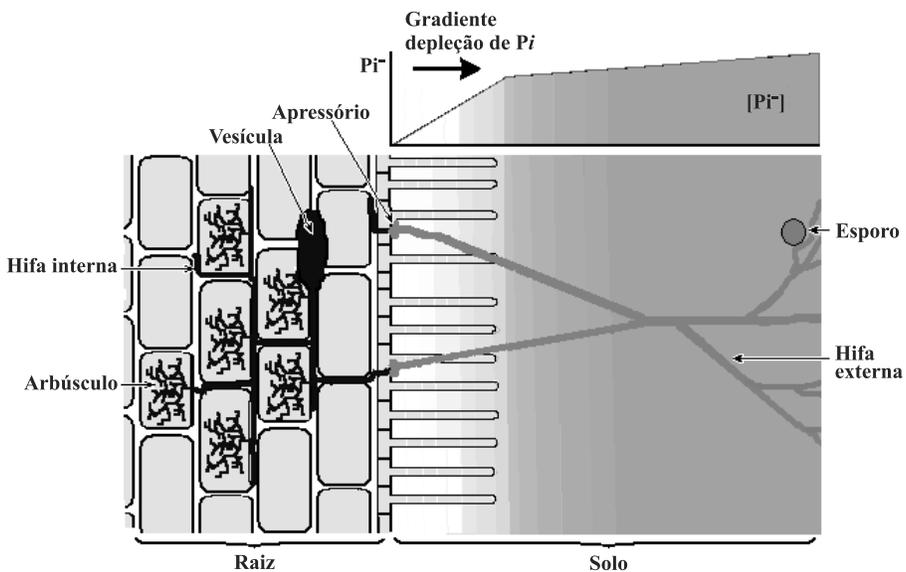


Figura 3. Estrutura intraradicular das hifas, dos arbúsculos e das vesículas, e extraradicular, com hifas ultrapassando a zona de depleção de Pi. Como se pode constatar, a taxa de absorção de Pi é maior que a sua taxa de difusão no solo.

Não se contesta a capacidade de os FMA absorverem nitrogênio; eles o absorvem e em níveis superiores aos de P (GAMPER et al., 2004). Entretanto, a planta não necessita do FMA para obter sua nutrição nitrogenada, pois o próprio sistema radicular é capaz de absorvê-lo, visto que o N apresenta grande mobilidade no solo. Não obstante, é interessante mencionar que a dependência micorrízica em espécies arbóreas pode ser elevada, podendo a ausência do fungo limitar o desenvolvimento da planta e até mesmo a nodulação com BFN (JESUS et al., 2005).

8.2.1 Manejo de FMA

Pelos seus múltiplos impactos, já apontados neste capítulo, estratégias de manejo que incrementem não apenas a diversidade de FMA, mas também, e em especial, as hifas extrarradiculares, devem ser buscadas, porque a maioria dos agroecossistemas apresenta condições que não são ideais para o funcionamento de FMA. Certos manejos – como a mecanização excessiva com a alta fertilização do solo, a aplicação de agrotóxicos, as rotações de cultura com plantas não hospedeiras (como as Brássicas), os poluentes diversos, inclusive os orgânicos (por exemplo, com uso excessivo de esterco) – levam à diminuição da otimização dessa simbiose, seja pela redução da atividade fúngica, seja pela redução de sua diversidade, ou, ainda, pela diminuição da produção de hifas extrarradiculares.

Como regra geral, pode-se sugerir que qualquer estratégia de manejo que leve ao incremento da produção de raízes finas causa impacto positivo sobre a produção de propágulos infectivos de FMAs (não necessariamente sobre a sua diversidade). A diversidade de FMAs está relacionada diretamente à diversidade da comunidade vegetal. Dessa forma, agroecossistemas mais complexos que utilizem rotação de culturas, consorciamento ou sistemas agroflorestais tenderão a possuir maior riqueza de fungos micorrízicos do que sistemas sob monoculturas constantes.

8.2.2 Inoculação com fungos micorrízicos

Processos de inoculação de plantas por FMAs vêm sendo tentado há vários anos, no Brasil e no mundo. Empresas particulares já oferecem inóculos para distintos fins. Mas, antes de adquiri-los, aconselha-se tomar alguns cuidados. Em primeiro lugar, quanto à qualidade do inóculo. Em geral, essa qualidade deve ser aferida por instituições de pesquisa credenciadas pelo Ministério da Agricultura; do contrário, corre-se o risco de adquirir material de procedência duvidosa. Em segundo lugar, cumpre lembrar que ainda não se recomenda o uso de inoculantes de FMA para culturas agrícolas anuais, tanto por causa do seu alto custo quanto pelo fato de não haver resultados experimentais que confirmem o efeito positivo e sustentável do uso dos inóculos.

Já para as culturas perenes, a literatura sugere sua aplicação, desde que a combinação da espécie de FMA com a vegetal esteja bem determinada, porque espécies de fungo micorrízico podem ser específicas quanto à sua resposta no desenvolvimento vegetal. A empresa produtora do inóculo deve fornecer tal informação.

A inoculação de fungos micorrízicos de espécies nativas (e exóticas) com solos também locais (de pastagem, especialmente) tem funcionado para produção de mudas em substratos desprovidos de matéria orgânica.

8.3 Adubos verdes

Conceitua-se adubo verde como a planta, cultivada ou não, cuja finalidade seja a de elevar a produtividade do solo por meio de sua massa vegetal, produzida no próprio local ou não. A adubação verde, apesar de ser conhecida desde a Antiguidade, foi relegada a segundo plano quando os fertilizantes industrializados entraram no comércio. Porém, com a elevação dos preços dos insumos, principalmente dos adubos nitrogenados, o uso da adubação verde voltou a ser prática viável para a manutenção e/ou a elevação da produtividade dos solos. Preferem-se as leguminosas como adubo verde, em virtude, principalmente, da simbiose rizóbio-leguminosa, já que se pode adicionar ao solo de 100 kg a 400 kg ha⁻¹ ciclo⁻¹ de N.

O uso frequente da adubação verde proporciona melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, trazendo benefícios como: aumento da CTC, manutenção da umidade, melhora da estrutura, proteção contra a lixiviação de nutrientes e maior disponibilidade de nutrientes, principalmente de N, que, por meio da FBN, é adicionado ao solo. Alguns adubos verdes reduzem a população de nematoides e influem na produtividade da cultura principal, além de proporcionar condições favoráveis ao desenvolvimento da flora microbiana, com a sua decomposição. De modo geral, as leguminosas são consideradas grandes acumuladoras de P quando cultivadas em solos com baixa disponibilidade desse elemento, ou em solos adubados com rochas fosfatadas, aumentando, dessa forma, a disponibilidade desse nutriente para a cultura seguinte, via deposição de sua biomassa aérea ou subterrânea (radicular). Outro efeito relevante é o aumento da disponibilidade

de nutrientes, promovido pela ciclagem de nutrientes presentes em camadas profundas do solo, para as camadas superficiais, que é realizado por plantas com sistema radicular profundo. Algumas espécies utilizadas como adubo verde promovem o rompimento das camadas de compactação subsuperficiais do solo, resultantes da mecanização (pé de grade ou pé de arado), o que, quando bem explorado, poderia representar um excelente substituto aos atuais métodos mecânicos de subsolagem, de elevados custo e consumo energético.

Essa opção traz ainda uma vantagem adicional – a manutenção do solo coberto no período de pousio –, minimizando, assim, os efeitos da erosão. O rápido crescimento das plantas utilizadas como adubo verde inibe o crescimento de plantas concorrentes, reduzindo, assim, o número de capinas e o uso de herbicidas, além de diminuir a incidência de pragas e moléstias ao funcionar como uma (rápida) rotação de culturas.

Ainda que todas essas alterações positivas estejam bem comprovadas pela pesquisa, é importante ressaltar que as modificações no agroecossistema não ocorrem instantaneamente; elas dependem do ambiente e do manejo aplicado ao terreno.

8.3.1 Espécies de adubo verde

Entre as leguminosas mais promissoras para utilização como adubo verde, ganham destaque as crotalárias, o feijão-de-porco, o lablab, a mucuna, o feijão-bravo e o guandu, cujas principais características são descritas a seguir.

8.3.1.1 Crotalárias

Existem mais de 600 espécies em todo o mundo, que vegetam de preferência em climas tropicais e subtropicais, e em solos argilosos a franco-arenosos.

Além da *Crotalaria juncea*, cujas características são, em seguida, apresentadas, são usadas como adubo verde: *C. spectabilis*, *C. grationa*, *C. striata*, *C. anagiroides*, *C. paulinea*, entre outras. *C. paulinea*, muito usada em outras regiões, é bastante atacada por lagartas no Estado do Rio de Janeiro.

Nome comum: crotalária júncea.

Nome científico: *Crotalaria juncea*.

Ciclo da planta: de 4 a 6 meses.

Escarificação de sementes: não é necessária.

Peso de mil sementes: de 40 g a 60 g.

Gasto de sementes: de 16 kg a 24 kg de sementes viáveis por hectare.

Espaçamento: 0,50 m x 0,10 m (duas plantas por cova).

Porte: ereto, semiarbustivo, de hábito determinado, vigoroso.

Altura da planta: de 2,0 m a 3,0 m, dependendo da fertilidade do solo.

Associação de culturas: consorcia-se bem com plantas semiperenes ou perenes, como café, fruteiras e cana-de-açúcar, e com plantas anuais, em semeaduras por ocasião da maturação fisiológica da cultura principal, como milho, arroz e sorgo.

Doenças e pragas: destaca-se o fungo *Ceratocystes fimbriata*, que causa dano considerável à cultura. Em relação às pragas, a lagarta *Utethesia pulchella*, em algumas regiões, pode tornar-se um problema, ao atacar os grãos no início do enchimento das vagens e até mesmo os grãos já formados na vagem.

Corte: a crotalária pode ser incorporada ao solo por ocasião do preparo para outro plantio da cultura principal, ou pode ser cortada, com os restos vegetais, após a colheita da cultura, deixando toda a massa cobrindo o solo até o próximo preparo. Quando associada a culturas perenes, o seu corte deve ser feito no pico da floração do adubo verde (de 80 a 120 dias após o plantio).

Produtividade: dependendo de fatores edafoclimáticos, pode produzir, por hectare, de 18 t a 30 t de massa verde, o que representa de 6 t a 10 t de massa seca e de 100 kg a 300 kg de N adicionados ao solo.

8.3.1.2 Feijão-de-porco

São aproximadamente 50 espécies de feijão-de-porco no mundo, que vegetam de preferência em clima tropical. É uma leguminosa muito rústica, anual, de crescimento inicial rápido, que se adapta bem a quase todos os tipos de solo, inclusive os pobres em fósforo.

Nome comum: feijão-de-porco.

Nome científico: *Canavalia ensiformis*.

Ciclo da planta: 180 dias.

Escarificação de sementes: não é necessária.

Peso de 1.000 sementes: de 1.000 g a 1.300 g (sementes grandes).

Gasto de sementes: de 100 kg ha⁻¹ a 1.500 kg ha⁻¹.

Espaçamento: 0,50 m x 0,15 m.

Porte: ereto, de hábito determinado.

Altura da planta: de 0,60 m a 1,00 m.

Associação de culturas: consorcia-se bem com plantas perenes ou semiperenes, como café, fruteiras e cana-de-açúcar, e com plantas anuais em semeaduras simultâneas ou semeadas na maturação fisiológica da cultura principal. A leguminosa plantada entre fileiras da cultura principal, nos semeios simultâneos, reduz o aparecimento de plantas concorrentes nas "ruas" da cultura, pois, rapidamente, cobre o terreno, sem prejudicar o desenvolvimento dela; entretanto, pode afetar a cultura principal em plantios simultâneos, em regiões com restrição de água.

Doenças e pragas: o feijão-de-porco é hospedeiro da mosca-branca (*Bemisia tabaci*) transmissora do vírus-do-mosaico-dourado e de outras viroses, principal fator limitante da produção do feijão comum. É atacado pela lagarta-palito-de-fósforo (*Urbanus* sp.). O controle não é econômico, porém a planta é capaz de regenerar-se após a desfolha pela lagarta.

Corte: em culturas anuais, associadas, simultâneas, ou em plantios realizados na época da maturação fisiológica, o corte é feito na época da plena floração da leguminosa, deixando-se a massa verde em cobertura sobre o solo. Um baixo emprego de máquinas na manipulação do adubo verde diminui o custo de produção da cultura principal.

Produtividade: dependendo dos fatores edafoclimáticos, o feijão-de-porco pode produzir, por hectare, até 50 t de massa verde, representando a adição ao solo de 10 t a 15 t de matéria seca e de 100 kg a 300 kg de N.

8.3.1.3 Lablab

Nome comum: lablab, mangalô e feijão-de-orelha.

Nome científico: *Lablab purpureus* (= *Dolichos lablab*).

Ciclo da planta: semiperenes; é também cultivada como planta anual.

Escarificação de sementes: não é necessária.

Peso de mil sementes: 230 g.

Gasto de sementes: 30 kg ha⁻¹.

Espaçamento: 0,50 m x 0,15 m.

Porte: há culturas eretas e de hábito determinado, e outras trepadoras e de hábito indeterminado.

Associação de culturas: associa-se bem quando plantada no final do ciclo da cultura anual principal e incorporada ao solo antes do próximo plantio da cultura principal. As cultivares de porte determinado podem ser usadas em associação com culturas perenes.

Pragas: as folhas são comidas por alguns insetos, como a vaquinha (*Cerotoma* sp.). Pode haver incidência de nematódeos, principalmente em solos arenoso.

Corte: no pico da floração, pode ser incorporada ao solo ou deixada em cobertura. Não incorporar vagem com sementes maduras, pois poderá haver praguejamento da área, pela germinação das sementes.

Produtividade: de 10 t a 30 t de massa verde ha⁻¹ (de 60 kg a 220 kg de N ha⁻¹), dependendo das condições edafoclimáticas e da época de plantio.

8.3.1.4 Mucuna

Além da mucuna-preta, descrita a seguir, outras espécies de mucunas, menos comuns na nossa região, são: mucuna-rajada, mucuna-jaspeada e mucuna-anã.

Nome comum: mucuna-preta ou feijão-veludo.

Nome científico: *Mucuna aterrima* (= *Stizolobium aterrimum*).

Ciclo da planta: de 5 a 6 meses.

Escarificação de sementes: não é necessária.

Peso de mil sementes: 650 g.

Gasto de sementes: 65 kg ha⁻¹.

Espaçamento: 0,50 m x 0,20 m.

Porte: prostrado ou trepador, de hábito indeterminado.

Associação de culturas: associa-se bem quando plantada no final do ciclo da cultura anual principal. Por ter hábito trepador, não se presta à associação com culturas perenes.

Pragas: a principal praga é a saúva.

Corte: no pico da floração, pode ser incorporada ao solo ou deixada em cobertura; não incorporar vagem com sementes maduras, pois poderá haver praguejamento da área pela germinação das sementes.

Produtividade: de 10 t a 40 t de massa verde ha⁻¹ (de 60 kg a 300 kg de N ha⁻¹), dependendo das condições ambientais e da época de plantio.

8.3.1.5 Feijão-bravo

É uma leguminosa perene, herbácea, de grande alongamento, que se adapta bem em solos ácidos e vegeta vigorosamente, principalmente em regiões quentes. Conserva-se verde durante todo o ano e tem notável resistência à seca. É bastante eficiente no aproveitamento dos nutrientes.

Nome comum: feijão-bravo-do-ceará ou feijão-bravo.

Nome científico: *Canavalia brasiliensis*.

Ciclo da planta: perene.

Escarificação de sementes: imersão das sementes em água quente, pouco antes da fervura, a aproximadamente 80 °C, deixando-as imersas até o esfriamento da água; plantar em seguida, em solo úmido.

Peso de mil sementes: 600 g.

Gasto de sementes: 60 kg ha⁻¹.

Espaçamento: 0,50 m x 0,20 m quando a incorporação é realizada na primeira florada; 1,00 m x 1,00 m para cobertura prolongada do solo; neste último caso, o consumo de sementes será de 6 kg ha⁻¹.

Porte: prostrado ou trepador, de hábito indeterminado.

Associação de culturas: associa-se bem quando plantada no final do ciclo da cultura anual principal e incorporada ao solo antes do próximo plantio da cultura principal; por ter hábito trepador, não se presta à associação com culturas perenes.

Pragas e doenças: é hospedeiro da mosca-branca (*Bemisia tabaci*) transmissora do vírus-do-mosaico-dourado e de outras viroses do feijão-comum.

Corte: quando associada à cultura principal, deve ser cortada e incorporada, ou deixada em cobertura e incorporada por ocasião do próximo preparo do solo; há a possibilidade de praguejamento da área se forem incorporadas vagens com sementes maduras.

Produtividade: quando cortada no início da floração (100 dias após a semeadura), produz aproximadamente 10 t de massa verde ha⁻¹; se cortada mais tardiamente, pode atingir 40 t de massa verde ha⁻¹, que adicionam ao solo aproximadamente 300 kg de N ha⁻¹.

8.3.1.6 Guandu

A grande vantagem do guandu, como adubo verde, sobre as demais leguminosas é que ele pode ser aproveitado também na alimentação animal e humana.

Nome comum: guandu ou quando.

Nome científico: *Cjanus cajan* (*C. flavus*, *C. indicus*).

Ciclo da planta: embora semiperene, deve ser cultivada por 1 ou, no máximo, 2 anos, porque, se for por mais tempo, os troncos engrossam e tornam-se muito lenhosos, dificultando o enterrio de massa para a adubação verde. Da semeadura até à formação de vagens maduras, leva de 5 a 8 meses.

Escarificação das sementes: não é necessária.

Peso de mil sementes: 145 g.

Gasto de sementes: 30 kg ha⁻¹.

Espaçamento: 50 cm entre linhas, 20 cm entre covas, com 2 sementes/cova.

Porte: arbusto, muito ramificado.

Pragas: normalmente, nas nossas condições, até a fase de produção, a planta não é muito atacada por pragas, apesar de as vagens e as sementes serem infestadas por caruncho.

Corte: o corte ou a incorporação ao solo deve ser feito de preferência no pico da floração.

Produtividade: aproximadamente 15 t de massa verde ha⁻¹, que correspondem a 5 t de massa seca ha⁻¹ e 150 kg de N ha⁻¹.