

# **EFEITO DE FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES E DOSES DE N SOBRE PLANTAS CULTIVADAS EM SISTEMA DE CONSÓRCIO<sup>1</sup>**

André Freire Cruz<sup>2</sup>

Marco Antônio Martins<sup>2</sup>

## **1. INTRODUÇÃO**

O uso de fertilizantes químicos representa atualmente uma prática quase que indispensável para alcançar altas produtividades agrícolas. Entretanto, os altos custos econômicos para a produção destes, bem como os seus problemas causados ao meio ambiente, têm levado os pesquisadores a procurar fontes alternativas e processos que possibilitem melhor utilização desses fertilizantes.

Dentre os elementos essenciais ao crescimento vegetal, destacam-se o nitrogênio (N) e o fósforo (P), cuja aquisição pode ser melhorada pela utilização de processos microbiológicos.

---

<sup>1</sup>Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor. Aceito para publicação em 03.12.1996.

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), bolsista do CNPq - Av. Alberto Lamego, 2000 - CCTA - 28015-620 Campos dos Goytacazes, RJ. Fax (0247) 26.3746  
E-mail: marco@uenf.br.

No caso de plantas leguminosas, bactérias do gênero *Rhizobium*, *Bradyrhizobium* e *Azorhizobium*, genericamente denominadas rizóbios, possuem um complexo enzimático capaz de transformar o N<sub>2</sub> atmosférico em formas prontamente utilizáveis pelas plantas, processo esse denominado fixação biológica do nitrogênio (FBN).

O fósforo, além de possuir baixa mobilidade no solo, apresenta-se também, na maioria das vezes, em formas não disponíveis para as plantas. A aquisição deste elemento pode ser melhorada por meio dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA), pelo processo da interceptação radicular, por intermédio de sua rede micelial, que pode se estender de 9 a 12 cm além da superfície explorada pelas raízes (6). Acredita-se também que os FMAs possibilitam às raízes o acesso a formas insolúveis de P; entretanto, o assunto ainda é polêmico.

No consórcio entre uma leguminosa e uma gramínea, os dois processos biológicos descritos anteriormente podem atuar simultaneamente, ou seja, o rizóbio irá proporcionar a incorporação de N<sub>2</sub> atmosférico à leguminosa, ao passo que o P poderá ser incorporado ao sistema por meio de FMAs quando estes estiverem colonizando o sistema radicular tanto da leguminosa quanto da gramínea.

Os FMAs, em virtude de sua baixa especificidade em relação à planta hospedeira (19), permitem interligação entre as raízes de plantas da mesma espécie ou de diferentes espécies, por meio de sua rede micelial, que se desenvolve no solo (20, 22), criando a possibilidade de ocorrer uma transferência de nutrientes entre elas (13, 14, 15, 16). Assim, no consórcio entre gramínea e leguminosa é possível "criar" um organismo potencialmente auto-suficiente em N e P, no qual o FMA proporciona maior aquisição de P pela leguminosa ou pela gramínea e a bactéria fixa o N<sub>2</sub> atmosférico, incorporando-o na leguminosa, que pode ser transferido para a gramínea por intermédio da hifa do FMA.

O nível de nutrientes no solo, principalmente o N, pode influenciar na colonização micorrízica do sistema radicular (17). Da mesma forma que altos teores de N no solo prejudicam a nodulação das raízes das leguminosas (8).

Em razão do alto requerimento de P na FBN, as leguminosas tornam-se mais dependentes de fungos micorrízicos arbusculares (FMA), que proporciona à planta maior capacidade de absorver o fósforo do solo (4).

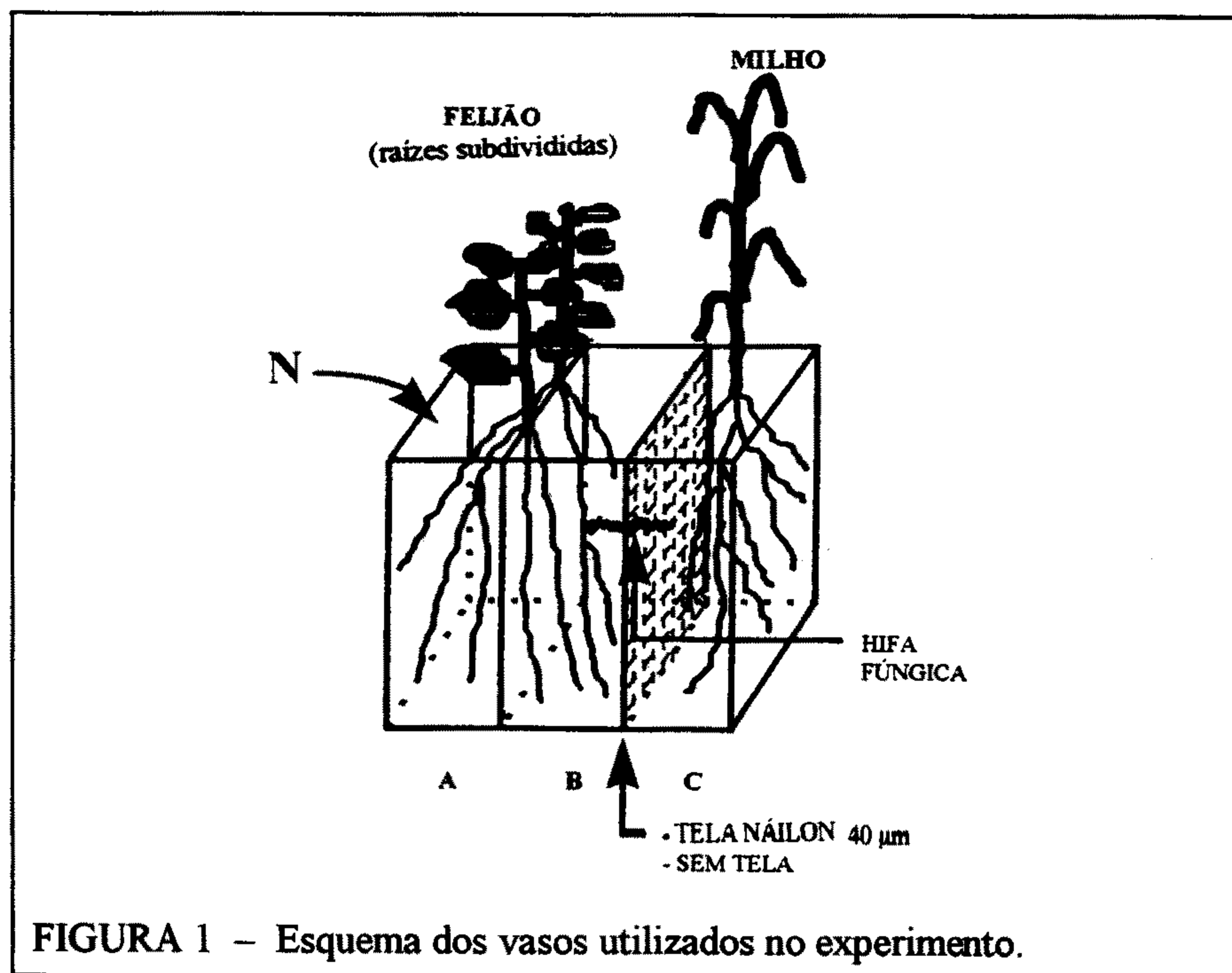
O par ideal de FMA e de rizóbio a ser selecionado depende de outros fatores, principalmente no que diz respeito à inter-relação entre os microrganismos e o cultivar, já que duplas de microrganismos incompatíveis podem gerar resposta negativa (7).

As micorrizas também podem atuar na diminuição dos efeitos da competição entre plantas, quando estão em sistema de consórcio (4), bem

como levar a uma melhor competitividade de uma leguminosa em relação à gramínea, talvez por ser esta mais micotrófica (maior afinidade com o fungo), ou em razão do FMA promover o crescimento de uma espécie enquanto inibe a outra (10). Os FMAs podem diminuir os efeitos da competição pelo aumento da eficiência de utilização dos nutrientes (11). Os efeitos desta competição podem tornar-se mais intensos em condições limitadas de carbono, em que uma dupla inoculação numa planta pode provocar uma disputa de três organismos (raiz, FMA e rizóbio) por fotoassimilados (24). O presente trabalho tem como objetivo estudar o efeito de doses de N e fungos micorrízicos arbusculares sobre plantas cultivadas em sistema de consórcio.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram construídos dois tipos de vasos especiais compartimentalizados, ambos compostos de três seções de 2cm<sup>3</sup> de capacidade (A, B e C) (Figura 1). Em um deles, entre as seções B e C, foi inserida uma tela de náilon, com abertura de malha de 40µm, para permitir a passagem de hifas fúngicas e impedir a de raízes; no outro vaso, não houve barreira entre as seções B e C, a fim de que se promovesse o "entrelaçamento" dos sistemas radiculares de ambas as plantas em



consórcio nesses vasos. Entre as seções A e B, também se inseriu uma "placa plástica", que não permitia o contato físico entre elas.

Como planta leguminosa foi utilizado o cultivar de feijão (*Phaseolus vulgaris*) Ouro Negro (tipo de crescimento determinado), comumente empregado em sistema de consórcio. Como gramínea, foi usado o cultivar de milho (*Zea mays*), BR 106 (porte baixo), recomendado atualmente para a região norte fluminense-RJ.

A estirpe de *Rhizobium tropici* utilizada foi a H-20 (Br 322), proveniente do Centro Nacional de Pesquisa em Agrobiologia (CNPAB) - Itaguaí-RJ. Esta foi crescida em erlenmeyers, contendo 150 ml de meio extrato de levedura-manitol (YEM). A inoculação procedeu-se pela submersão de sementes de feijão, pré-germinadas, numa suspensão de *Rhizobium*, com 1% de sucrose.

A espécie fúngica micorrízica arbuscular utilizada foi a *Glomus etunicatum* (Becker e Gerdermann), cuja inoculação foi processada por meio da adição, no orifício de plantio do milho, de amostras de solo contendo esporos e hifas de fungo. No caso dos tratamentos não inoculados com o fungo, adicionaram-se 25 ml de uma solução filtrada (papel-filtro Whatman n°1), proveniente de lavagem de raízes, de forma que as plantas-testemunhas fossem inoculadas com uma população de bactérias semelhante às plantas micorrizadas, porém, livres de propágulos de FMA.

As sementes de feijão foram germinadas em bandejas plásticas e, após sete dias, suas raízes pivotantes foram cortadas e as plântulas transplantadas para os vasos com suas raízes secundárias subdivididas entre as seções A e B de cada vaso (Figura 1). O milho foi plantado no compartimento C, 10 dias após o transplante do feijão, por intermédio da colocação de três sementes desinfestadas com hipoclorito de sódio (5%). Quinze dias após, efetuou-se o desbaste, deixando apenas duas plantas por vaso.

O substrato utilizado foi uma mistura solo:areia (1:2), peneirada em malha de 2mm e esterilizada por fumigação com brometo de metila na dosagem de 90cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> de substrato, a fim de eliminar possíveis FMAs. Para fertilização dos vasos utilizou-se uma adubação básica, a partir das características químicas do substrato (Quadro 1), com 20 mg/kg de P e 100 mg/kg de K. A calagem foi processada pela adição de Ca e Mg respectivamente, numa relação de 4:1, para suprir as exigências mínimas do crescimento vegetal. A adubação nitrogenada foi feita por meio da aplicação de N no compartimento A de cada vaso, nas doses de 0, 25, 50 e 100 mg/kg, na forma de uréia.

A coleta do experimento ocorreu 50 dias após o transplante das leguminosas, sendo cortada a parte aérea das plantas rente ao solo. Foram

QUADRO 1 - Resultado da análise química do substrato utilizado (solo:areia 1:2)		
	Antes da adubação	Após a adubação
pH	5,3	5,6
Cálcio	0,6 meq/100g	2,4 meq/100g
Magnésio	0,4 meq/100g	1,0meq/100g
Alumínio	0,2meq/100g	0,0meq/100g
Fósforo	8 mg/kg	13 mg/kg
Potássio	19 mg/kg	41mg/kg
Sódio	0,03 meq/100g	0,05meq/100g
Carbono	0,41 %	0,3%
Nitrogênio total	0,041 %	-
H + Al	0,8 meq/100g	0,65meq/100g

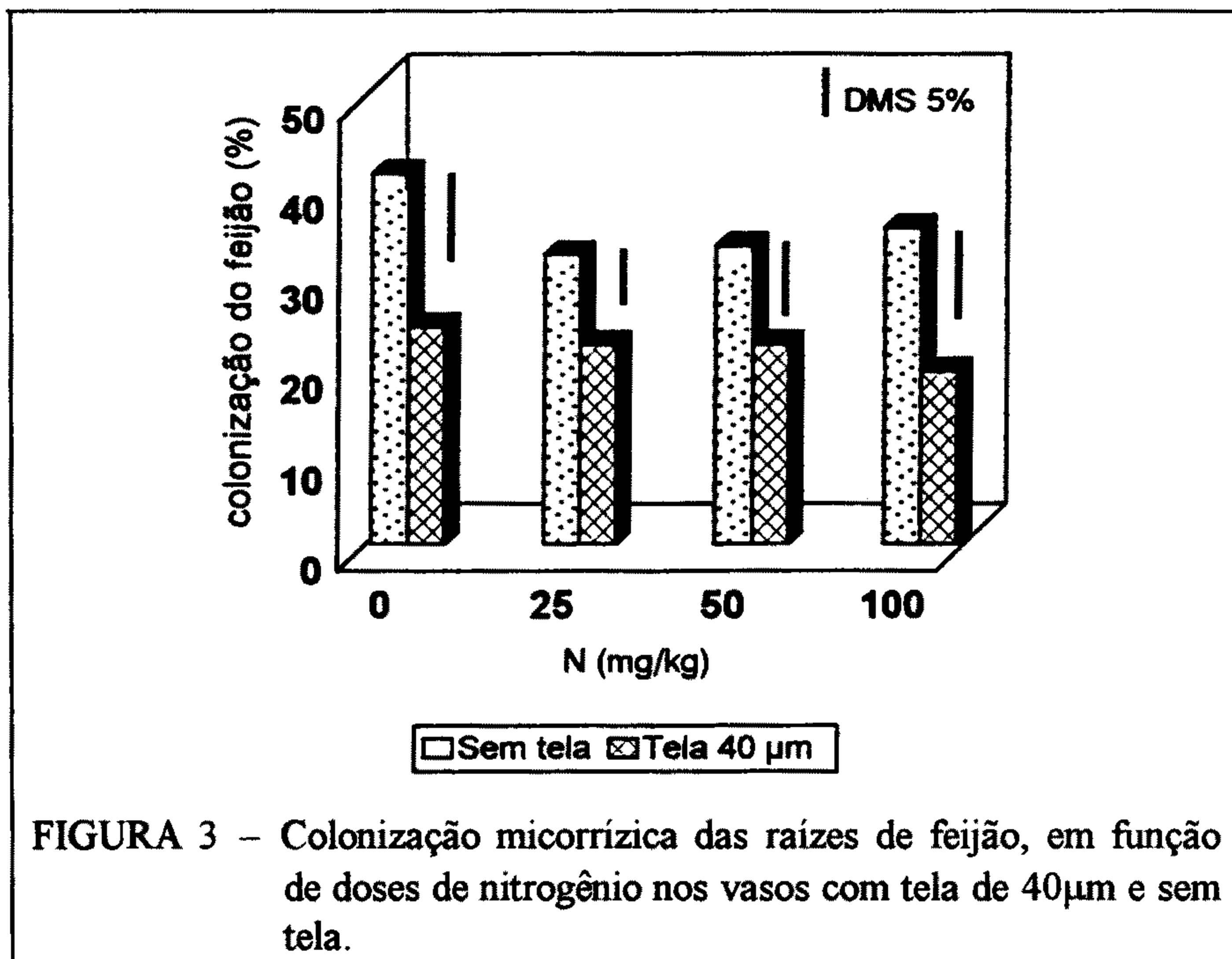
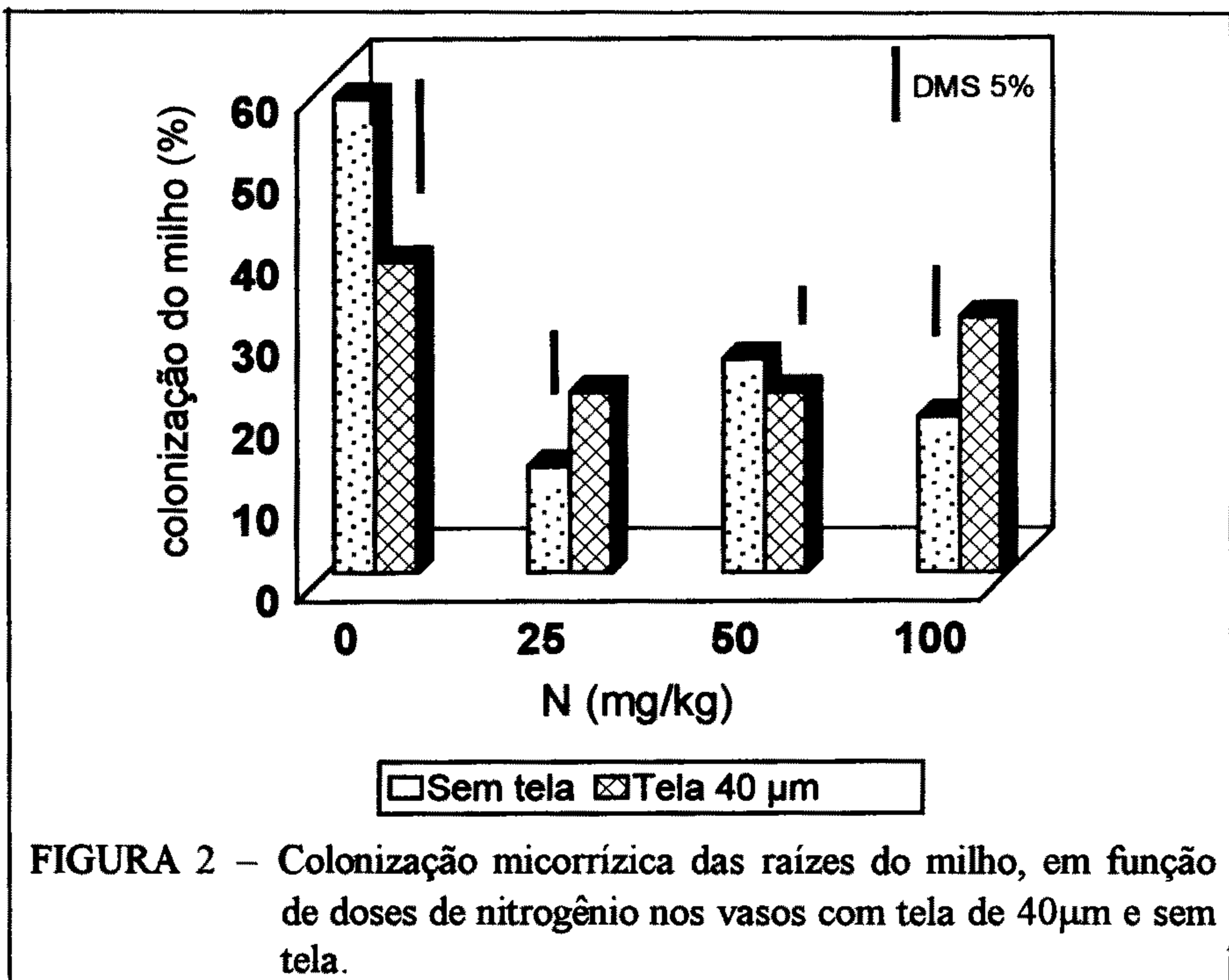
avaliadas a percentagem de colonização micorrízica pelo método da interseção, em placas de Petri reticulada (9) após a coloração destas raízes; a nodulação das raízes do feijão; e a matéria seca da parte aérea das plantas de milho.

O teor de nitrogênio nas plantas de milho foi determinado na parte aérea, após moagem do material vegetal em moinho tipo Wiley, e determinado por combustão total em analisador PE 2400, Série II CHNS/O.

Os tratamentos foram dispostos num esquema fatorial (4x2x2), formado por quatro níveis de nitrogênio (0, 25, 50, 100 ppm), dois tipos de barreira (40µm, sem tela), um tratamento inoculado com fungo micorrízico e o outro não-inoculado, sendo os tratamentos dispostos em três blocos inteiramente casualizados, compondo um total de 48 parcelas. A análise de variância e posterior comparação de médias feitas pelo teste de Tukey a 5% foram efetuadas para os dados de matéria seca da parte aérea, conteúdo de nitrogênio, colonização micorrízica e nodulação das raízes do feijão.

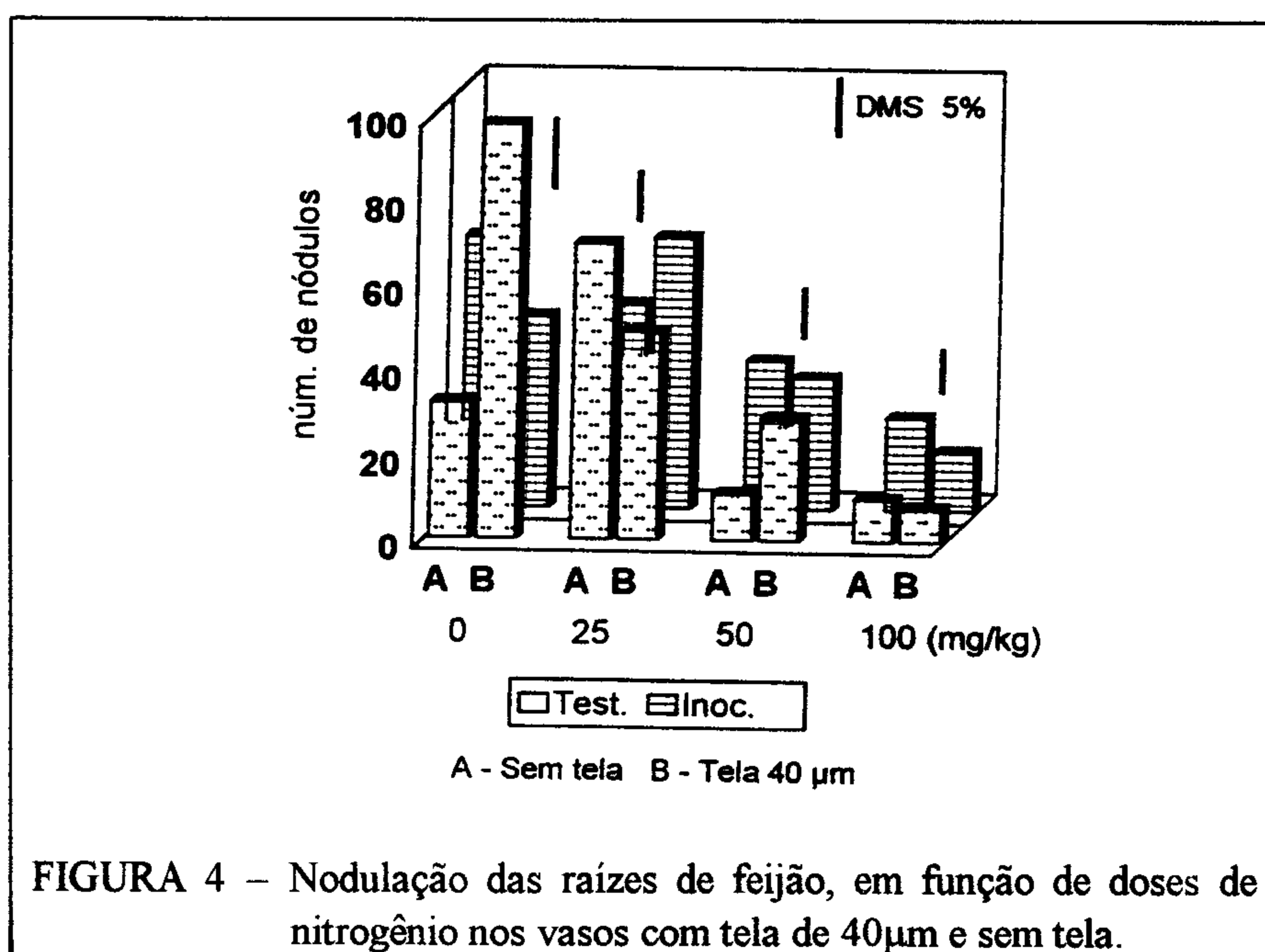
### 3. RESULTADOS

Os vasos inoculados com *G. etunicatum* apresentaram níveis de colonização micorrízica arbuscular satisfatórios nas raízes do milho (Figura 2) e feijão (Figura 3). A presença de colonização micorrízica nas raízes do feijão confirmou que o micélio fúngico cresceu das plantas de milho da seção C para as de feijão na seção B dos vasos, formando interligações



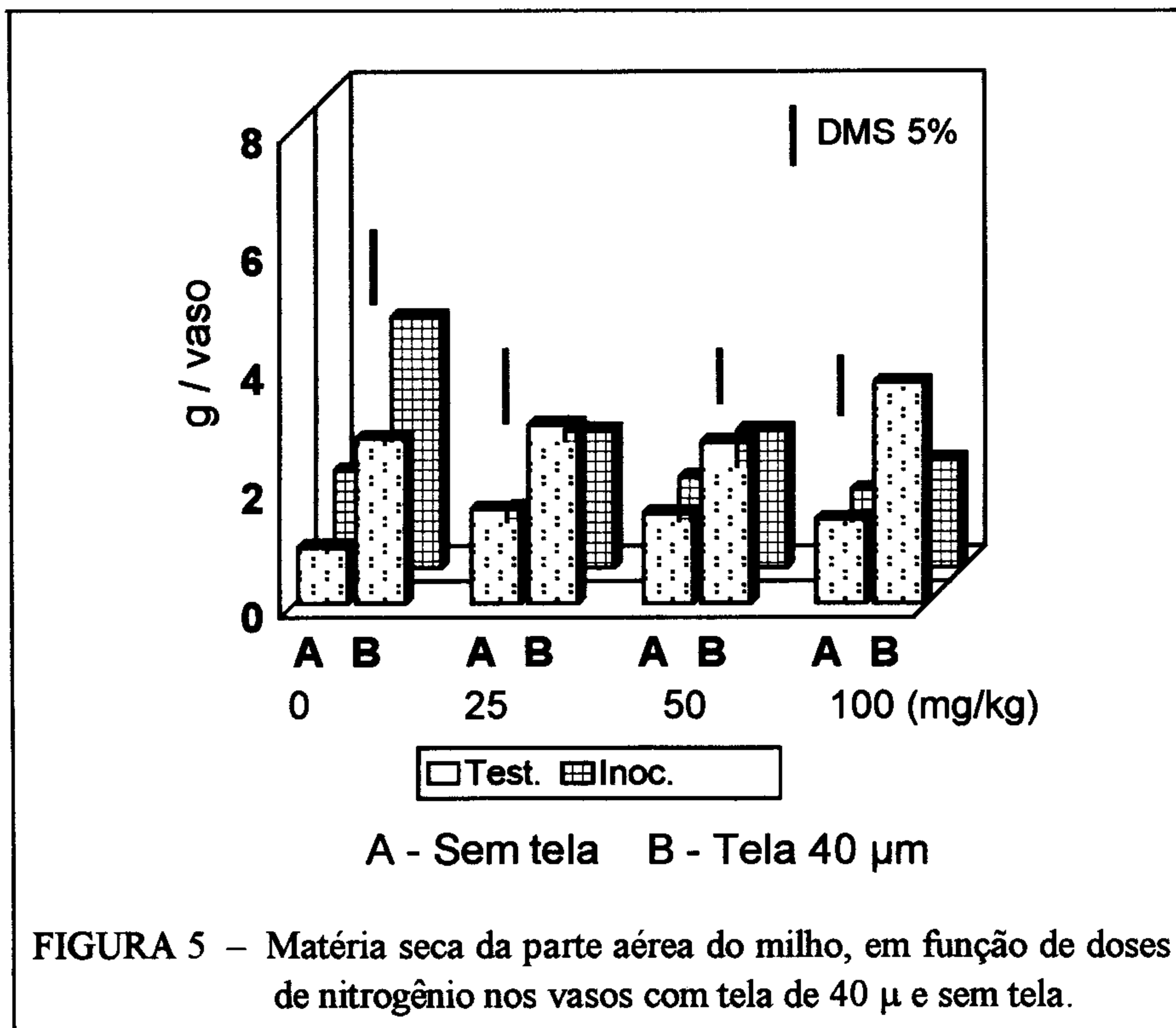
entre as plantas. Por outro lado, nos vasos em que não se efetuou a inoculação com o fungo (testemunha), não foi encontrada nenhuma colonização do sistema radicular das plantas pelo fungo. A barreira imposta entre as plantas influenciou os níveis de colonização micorrízica, onde se observou que a presença da tela de 40µm ocasionou diminuição significativa nos níveis de colonização.

A nodulação nas plantas de feijão decresceu com o aumento das doses de N em todos os tratamentos, exceto para os vasos sem tela e não-inoculados, nos quais o comportamento foi constante em todas as doses de N aplicadas (Figura 4).



A produção de matéria seca da parte aérea do milho nos vasos sem tela foi significativamente maior nos vasos micorrizados (Figura 5). Naqueles não-inoculados, a presença da tela não afetou de maneira significativa a produção de matéria seca. A presença do FMA teve pouca influência significativa sobre a produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho. Observou-se resposta positiva à micorrização somente na dose de 0 mg/kg de N (Figura 5). A partir da dose de 25 mg/kg de N a presença do fungo ocasionou, mesmo que não-significativamente, diminuição na produção de matéria seca da parte aérea das plantas de milho. As doses de N adicionadas ao substrato também tiveram pouca

influência sobre a produção de matéria seca do milho (Figura 5), obtendo-se maiores produções na dose de 0 mg/kg de N.

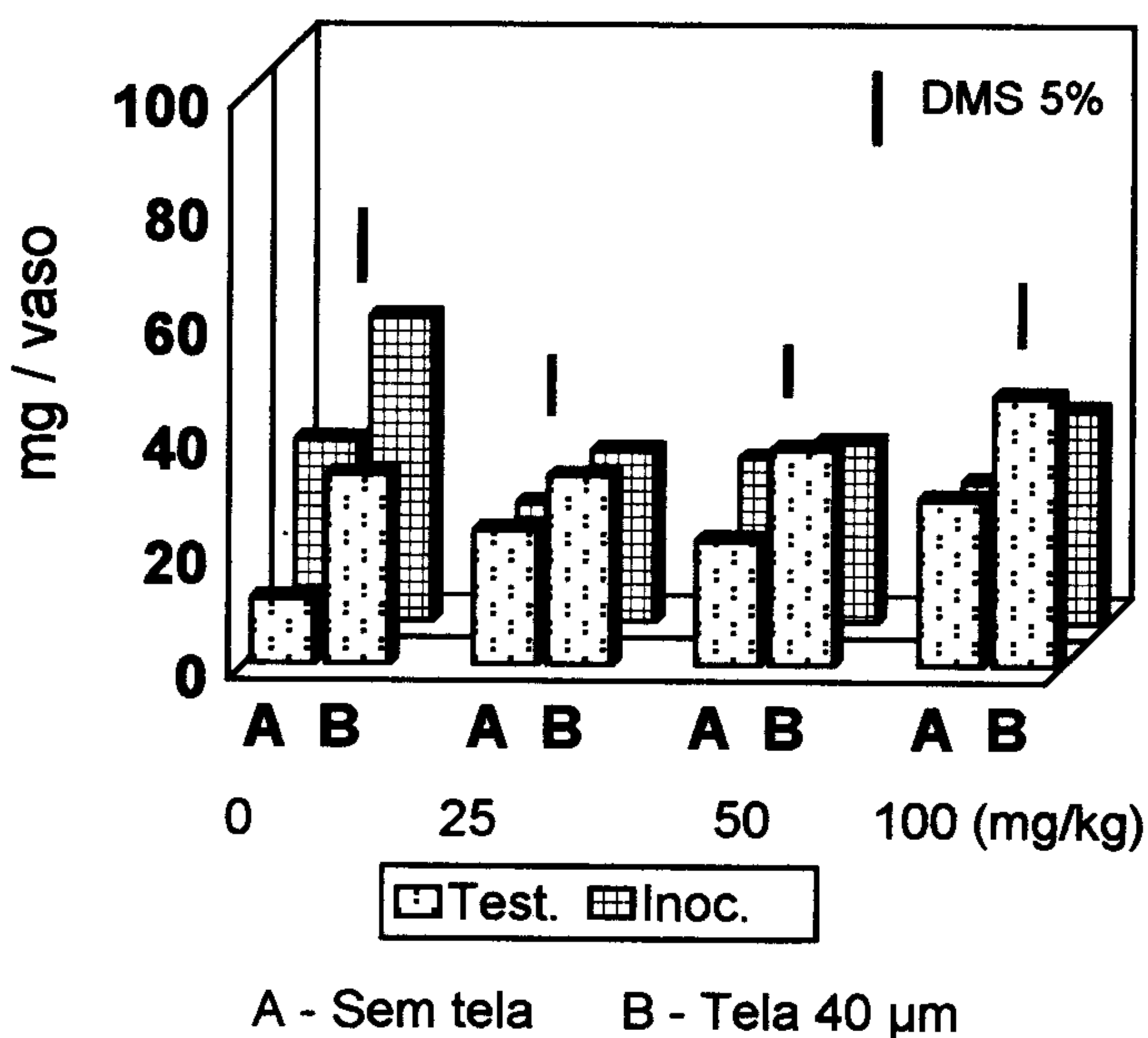


A barreira imposta (tela de 40µm) entre as plantas ocasionou na dose 0 mg/kg de N aumento significativo no conteúdo de N da parte aérea milho (Figura 6) tanto nos tratamentos micorrizados quanto nos não-micorrizados. A micorrização aumentou significativamente o conteúdo de N no milho na dose de 0 mg/kg de N.

#### 4. DISCUSSÃO

A constatação de colonização pelo fungo *G. etunicatum* nas raízes das leguminosas na seção B dos vasos foi confirmada pela passagem de hifas das raízes do milho, na seção C, para o feijão, na seção B (Figura 3). Segundo CAMEL *et alii* (6), a hifa fúngica pode-se estender de 6 a 9cm além da superfície radicular. Como a esporulação dos FMAs requer de quatro a oito semanas para ocorrer e novos esporos possuem um ciclo de dormência endógena de seis semanas a seis meses (25), a colonização observada no feijão é então atribuída ao crescimento do micélio da seção C





**FIGURA 6** – Conteúdo de nitrogênio na parte aérea do milho, em função de doses de N nos vasos com tela de 40 µm e sem tela.

para a B. Este crescimento do micélio para a seção B faz com que as hifas fúngicas formem interconecções entre as plantas de diferentes espécies, em razão da sua baixa especificidade hospedeira. READ e BIRCH (23) observaram que as plantas em pastagens seminaturais, em sua maioria, são rapidamente colonizadas após a emergência das plântulas. Estes autores sugeriram que esta rápida colonização ocorre por causa do contato do sistema radicular com a rede micelial externa dos FMAs e, como consequência, as plantas tornam-se interconectadas pelo micélio fúngico. Esta interligação entre plantas pode ter diversas funções, por exemplo aumentar a longevidade de raízes mortas (26) e propiciar transferência de nutrientes entre plantas (14, 15, 16). Este processo não é somente importante para a planta receptora, mas também para a conservação de nutrientes em ecossistemas estáveis, reduzindo a possibilidade de imobilização de nutrientes no solo, bem como de suas perdas para a flora microbiana. As leguminosas podem servir de meios eficientes de absorção de nutrientes para as gramíneas, sendo neste caso mais micotróficas (21). A presença da leguminosa em cultivos consorciados pode servir de inóculo para o milho, aumentando o potencial na colonização desta planta no solo.

O fungo micorrízico pode também alterar a competitividade entre plantas por meio de um melhor balanço no fornecimento de nutrientes de acordo com a necessidade da planta (12). Os resultados do experimento (Figuras 5 e 6) evidenciaram que os FMAs podem diminuir os efeitos da competição entre plantas quando cultivadas em sistema de consórcio, por propiciarem melhor aquisição de nutrientes para ambas. Porém, altos níveis de N aplicados ao solo podem não só inibir a micorrização como também reprimir ação micorrízica. Entretanto, AZIZ e HABTE (3) demonstraram que, em solos altamente erodidos, a aplicação de altas doses de N estimulou a colonização micorrízica e o conteúdo de N e P nas plantas de caupi, inoculadas com *Glomus aggregatum*. Talvez isso tenha ocorrido porque, geralmente em solos altamente erodidos, os níveis de N no solo são extremamente baixos.

A nodulação do feijão no experimento sofreu pouca influência da micorriza, apenas em alguns tratamentos a presença do FMA provocou aumento no número de nódulos das plantas de feijão (Figura 4). O FMA pode propiciar aumento na nodulação das leguminosas, já que o processo de fixação biológica de nitrogênio possui alto requerimento de energia na forma de ATP. Entretanto, em cultivos consorciados pode haver competição pelo P, como também incompatibilidade da espécie fúngica com a estirpe de rizóbio. Segundo BAREA *et alii* (4), as micorrizas estimulam aumento na fixação de N<sub>2</sub> atmosférico por meio de maior absorção de P, assim como induz a uma elevação do conteúdo de N na parte aérea das plantas (2).

Como esperado, o aumento das doses de N aplicadas ao solo provocou diminuição na nodulação das leguminosas (Figura 4), que pode estar relacionada à menor necessidade de FBN, em face da presença de adubação nitrogenada (8).

Com base nos dados apresentados, observou-se que nas maiores doses de N aplicadas, a presença do fungo micorrízico não propiciou resposta positiva na produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) do milho (Figura 5). Talvez seja a presença da dupla simbiose que provavelmente consumiu maiores quantidades de fotoassimilados da planta e que pode ter provocado efeito negativo na MSPA das plantas de milho. Neste caso, há a necessidade de admitir que o fungo, por meio das interconexões híficas, está realizando a transferência de fotoassimilados das plantas do milho para as leguminosas, onde a demanda por C, em razão da dupla simbiose, é maior. De acordo com RUIZLOZANO e AZCÓN (24), uma dupla inoculação de microrganismos numa planta pode provocar competição de três organismos (rizóbio, FMA e raiz) por fotoassimilados, sendo estes efeitos mais intensos em condições limitadas de carbono. A

presença do FMA no hospedeiro consome quantidades significantes deste elemento (5). VAN VENN *et alii* (27) quantificaram que o FMA pode consumir até cerca de 30% do carbono fotoassimilado pela planta hospedeira e que a fixação simbiótica do N<sub>2</sub> atmosférico pode consumir até 33% do C do hospedeiro (18). A resposta negativa na produção de MSPA das plantas de milho pode ter ocorrido em virtude da incompatibilidade entre os simbiotes. De acordo com AHMAD (1), a eficiência simbiótica, a produção de matéria seca e a nutrição de N e P dependem da combinação da estirpe de rizóbio, espécie de FMA e do cultivar de feijão. A inoculação conjunta pode aumentar a resposta no crescimento e na produção da leguminosa em relação aos tratamentos não-inoculados ou somente com um simbiote. Logo, o par ideal de FMA e rizóbio a ser selecionado, visando ao aumento da produtividade da leguminosa, depende de outros fatores, principalmente no que diz respeito à inter-relação entre os microrganismos e o cultivar, já que duplas de microrganismos incompatíveis podem gerar resposta negativa (7).

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho, desenvolvido em casa de vegetação na Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), em Campos-RJ, objetivou avaliar o efeito de doses de N e fungos micorrízicos arbusculares (FMA) em plantas cultivadas em sistema de consórcio. Foram construídos dois tipos de vasos especiais divididos em três seções (A, B e C) de 2 dm<sup>3</sup> de capacidade. Haviam vasos, sem barreira e com tela de 40 µm (permite a passagem de hifas fúngicas mas não a de raízes), entre as seções B e C. Quatro doses de nitrogênio (0, 25, 50 e 100 mg/kg) foram aplicadas na seção A. Duas plantas de feijão pré-germinadas e inoculadas com *Rhizobium tropici* foram plantadas com suas raízes divididas entre as seções A e B. Após 10 dias, o milho foi plantado por semeadura direta na seção C dos vasos, e a inoculação micorrízica nos tratamentos com o FMA foi feita pela adição de *Glomus etunicatum* somente na seção C. Após 50 dias do transplante do feijão, o experimento foi coletado e os resultados demonstraram que os tratamentos inoculados com o FMA apresentaram níveis satisfatórios de colonização micorrízica tanto nas plantas de milho como nas de feijão, e a nodulação das raízes decresceu com o aumento das doses de nitrogênio. A produção de matéria seca e o conteúdo de nitrogênio da parte aérea do milho foram influenciados pela presença do FMA apenas na menor dose

adicionada. O aumento de doses de N ao substrato não proporcionou aumento significativo na produção de matéria seca, sendo a maior produção obtida na dose 0 mg/kg de N, no tratamento inoculado com FMA. A presença do fungo diminuiu os efeitos da competição entre as plantas na menor dose de N aplicada.

## 6. SUMMARY

### (EFFECTS OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI AND LEVELS OF NITROGEN ON PLANTS CULTIVATED UNDER INTERCROP SYSTEM)

This work was undertaken at the State University of North Fluminense (UENF) under greenhouse conditions to evaluate both the role of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) and levels of N on plants cultivated under intercrop system. Two special pots divided into three sections (A, B and C), with 2 dm<sup>3</sup> of capacity, were constructed and either no barrier or a nylon mesh screen (40µm) (allowing the A M hyphal to pass but not the plant roots) was inserted between the sections B and C. Four levels of nitrogen were added (0, 25, 50 and 100 mg/dm<sup>3</sup>) only into section A. Two bean plants previously germinated and inoculated with *Rhizobium tropici* were planted with their root systems divided between the sections A and B. Ten days later, two seeds of maize were sown into the section C and inoculum (*Glomus etunicatum*) was added into the substrate. Fifty days later, after the transplant of the legume plants, the experiment was harvested. The results revealed that the colonization level in maize and legume roots was satisfactory, and the nodulation decreased with the increase of nitrogen levels. There was no positive response of dry weight, N and P content in the shoots of maize plants to mycorrhizal inoculation except at the lowest N level, where the AMF inoculation increased the shoots dry weight. Increasing the N level did not increase the dry weight shoots, with the highest growth being obtained at the lowest N level inoculated with AMF. The AMF reduced the effects of competition between plants in intercrop system, only at the lowest levels of nitrogen.

## 7. AGRADECIMENTOS

À Fundação Estadual do Norte Fluminense (FENORTE) e à FAPERJ, pelo apoio financeiro.

## 8. LITERATURA CITADA

1. AHMAD, M. H. Compatibility and coselection of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia for tropical legumes. *Crit. Rev. in Biot.*, 15: 229-239. 1985.
2. AZCÓN, R.; RUBIO, R & BAREA, J.M. Selective interactions between different species of mycorrhizal fungi and *Rhizobium melioli* strains, and their effects on growth, N<sub>2</sub>-fixation (<sup>15</sup>N) and nutrition of *Medicago sativa* L. *New Phytol.*, 117: 399-404. 1990.
3. AZIZ, T. & HABTE, M. Enhancement of endomycorrhizal activity through nitrogen fertilization in cowpea grown in oxisol subjected to simulated erosion. *Arid Soil Res. and Rehab.*, 4: 131-139. 1989.
4. BAREA, J. M.; AZCÓN-AGUILAR, C. & AZCÓN, R. Vesicular-arbuscular mycorrhiza improve both symbiotic N<sub>2</sub>-fixation and N uptake from soil as assessed with a <sup>15</sup>N technique under field conditions. *New Phytol.*, 106: 717-725. 1987.
5. BUWALDA, J. G. & GOH, K. M. Host-fungus competition for carbon as a cause of growth depression in VA mycorrhizal ryegrass. *Soil Biol. Biochem.*, 14: 103-106. 1982.
6. CAMEL, S. B.; REYES-SOLIS, M. G.; FERRERA-CERRATO, R.; FRANSON, R. L.; BROWN, M. S. & BETHLENFALVAY, G. J. Growth of VA mycorrhizal mycelium through bulk soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 55: 389-393. 1991.
7. DANIELS-HYLTON, K. D. M. & AHMAD, M. H. Inoculation response in kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L.) to vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia in non-sterilized soil. *Biol. Fertil. Soils*, 18: 95-98. 1994.
8. DOBEREINER, J.; ARRUDA, N. B. & PENTEADO, A. F. Avaliação da fixação de nitrogênio em leguminosas pela regressão do nitrogênio total das plantas sobre o peso seco dos nódulos. *Pesq. Agrop. Bras.*, 1: 233-237. 1966.
9. GIOVANNETTI, M. & MOSSE, B. An evaluation of techniques for measuring vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytol.*, 84: 489-500. 1980.
10. HAMEL, C.; FYLES, H. & SMITH, D. L. Measurement of development of endomycorrhizal mycelium using three different vital stains. *New Phytol.*, 115: 297-302. 1990.
11. HAMEL, C. & SMITH, D. L. Mycorrhizae-mediated <sup>15</sup>N transfer from soybean to corn in field-grown intercrops. Effect of component crop spatial relationships. *Soil Biol. Biochem.*, 24: 499-501. 1992.
12. HETRICK, B. A. D.; WILSON, G. W. T. & HARTNETT, D. C. Relationship between mycorrhizal dependence and ability of two tallgrass prairie grasses. *Can. J. Bot.*, 67: 2608-2615. 1989.
13. MARTINS, M. A. The role of the external mycelial network of VA mycorrhizal fungi. A study of carbon transfer between plants interconnected by a common mycelium. *Mycorrhiza*, 2:69-73. 1992.
14. MARTINS, M. A. *Interactions between plants with special reference to the role of the external mycelium of VA mycorrhizal fungi*. England, University of Sheffield, 1992. 171 p. (Tese de PhD).
15. MARTINS, M. A. The role of the external mycelial network of arbuscular mycorrhizal fungi in the carbon transfer process between plants. *Mycol. Res.*, 97:807-810. 1993.
16. MARTINS, M. A. & READ, D. J. The role of the external mycelial network of VA mycorrhizal fungi. II. A study of phosphorus transfer between plants interconnected by a common mycelium. *Rev. de Microb.*, 27: 30-35. 1996.

17. MARX, D. H.; HATCH, A. B.; MEDICINO, J. F. High soil fertility decreases sucrose content and susceptibility of loblolly pine roots to ectomycorrhizal infection by *Pisolithus tinctorius*. *Can. J. Bot.*, 55: 1569-1574. 1977.
18. MICHIN, F. R.; SUMMERFIELD, R. J.; HADLEY, P.; ROBERTS, E. H. & RAWSTHORNE, S. Carbon and nitrogen of nodulated roots of grain legumes. *Plant, Cell and Environ.*, 4: 5-26. 1981.
19. MOSSE, B. Specificity in VA mycorrhizas. In: Sanders, F. E.; Mosse, B. & Tinker, P. B. (eds.). *Endomycorrhizas*. London, Academic Press, 1975. p. 469-484.
20. NEWMAN, E. I. Mycorrhizal links between plants: their functioning and ecological significance. *Adv. in Ecol. Res.*, 18:243-270. 1988.
21. POWELL, C. L. Development of mycorrhizal infection from *Endogone* spores infected root segments. *Trans Br. Mycol. Soc.*, 66: 439-445. 1976.
22. READ, D. J. The structure and function of the vegetative mycelium of mycorrhizal roots. In: Jennings, D. H. & Rayner, A. D. M. (eds.). *The ecology and physiology of the fungal mycelium*. Cambridge, Cambridge University Press, 1984. p. 215-240.
23. READ, D. J. & BIRCH, C. P. D. The effects and implications of disturbance of mycorrhizal mycelial systems. *Proc. Royal Soc. Edinb.*, 94: 13-24. 1988.
24. RUIZLOZANO, J. M. & AZCON, R. Development and activity of the symbiosis between *Bradyrhizobium* strains, *Glomus* species and *Cicer arietinum* - Effect of timing of inoculation and photon irradiance. *Symbiosis*. 16: 249-265. 1994.
25. TOMMERUP, I. C. Spore dormancy in VA mycorrhizal fungi. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 81: 37-45. 1983.
26. TOMMERUP, I. C. & ABBOTT, L. K. Prolonged survival and viability of VA mycorrhizal hyphae after root death. *Soil Biol. Biochem.*, 13: 431-433. 1981.
27. VAN VEEN, J. A.; MERCKX, R. & VAN DE GEIJN, S. C. Plant and soil related controls of the flow of carbon from roots through the soil microbial biomass. *Plant and Soil*, 115: 179-188. 1989.