

AGRÁRIA

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

v.4, n.3, p.267-273, jul.-set., 2009

Recife, PE, UFRPE. www.agraria.ufrpe.br

Protocolo 471 - 14/10/2008 • Aprovado em 11/05/2009

Romero F. V. Carneiro²

Antônio R. Evangelista³

Ademir S. Ferreira Araújo⁴

Crescimento vegetativo e aquisição de nutrientes pela alfafa em resposta à micorriza e doses de fósforo¹

RESUMO

Com o objetivo de avaliar a influência de fungos micorrízicos arbusculares e adubação fosfatada na produção e qualidade da alfafa (*Medicago sativa* L.) cv. Crioula, em solo de baixa fertilidade natural, foi conduzido um experimento em casa de vegetação. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5x3, com 5 repetições, sendo 5 doses de fósforo (P) (30, 60, 120, 180 e 240 mg de P/dm³ de solo) e 3 condições de solo (solo natural; solo fumigado, solo fumigado e inoculado com o fungo micorrízico arbuscular (FMA - *Glomus etunicatum*). Após a colheita das plantas foram avaliados a produção de matéria seca da parte aérea, o rendimento de proteína bruta, as quantidades acumuladas de P, K, Ca, Mg, S; e a taxa de colonização micorrízica. Verificou-se que a interação doses de P x condições de solo, influenciou significativamente todas as variáveis estudadas. A adubação fosfatada incrementou a produção de matéria seca da parte aérea, o rendimento de proteína bruta, e as quantidades acumuladas de P, K, Ca, Mg e S, e essa constatação foi mais pronunciada no solo sob inoculação com FMA. A taxa de colonização micorrízica decresceu com o aumento das doses de P, e explicando as diferenças das amplitudes observadas entre os solos fumigado e inoculado. Nas condições do estudo, verificou-se que a alfafa é altamente dependente da condição micorrízica para maximizar sua produção.

Palavras-chave: *Medicago sativa* L., fumigação, inoculação, nutrição mineral, simbiose

Vegetative growth and acquisition of nutrients for the alfalfa in response to mycorrhiza and levels of phosphorus

ABSTRACT

With the purpose of evaluating the influence of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus fertilization on the yield and quality of alfalfa (*Medicago sativa* L.) cv. Crioula, in a soil of low natural fertility, an experiment was conducted under greenhouse conditions. The experimental design utilized was completely randomized, in a 5 x 3 factorial arrangement, with 5 replications, with 5 levels of P (P) (30, 60, 120, 180 e 240 mg of P/dm³ of soil) and 3 soil conditions (natural soil; fumigated soil; fumigated and inoculated soil with the arbuscular mycorrhizal fungus (AMF - *Glomus etunicatum*). The dry matter production of the aerial part, the yield of crude protein, the accumulated amounts of P, K, Ca, Mg and S, and the mycorrhizal colonization rate was evaluated. It was verified that the interaction between P doses x soil conditions influenced significantly all the studied variables. The phosphorus fertilization increased the dry matter production of the aerial part, the yield of crude protein, the accumulated amounts of P, K, Ca, Mg and S, and the results were more pronounced in the soil inoculated with AMF. The rates of mycorrhizal colonization decreased with the increase of P doses, and explain the differences in the results observed between fumigated and inoculated soils. In the conditions of this study, it was verified that alfalfa is highly dependent on the mycorrhizal condition to maximize its yield.

Key words: *Medicago sativa* L., fumigation, inoculation, mineral nutrition, symbiosis

² Universidade Federal do Piauí, Campus Bom Jesus, BR 135 Km 03, 64900-000, Bom Jesus/PI. Fone/Fax: (89) 3562-2535. E-mail: romero@ufpi.edu.br

³ Universidade Federal de Lavras, Campus Universitário, Departamento de Zootecnia, 37200-000, Lavras/MG. Fone: (35) 3829-1241 - Fax: (35) 3829-1231. E-mail: aricardo@ufla.br

⁴ Universidade Federal do Piauí, Centro de Ciências Agrárias - Campus da Socopo, 64049-550, Teresina/PI. Fone/Fax: (86) 3215-5743. E-mail: asfaruaj@yahoo.com.br

¹ Projeto apoiado financeiramente pelo CNPq e FAPEMIG

INTRODUÇÃO

Em extensas áreas do Brasil, a produtividade e o valor nutricional das forrageiras são baixos em decorrência, principalmente, das condições adversas de clima e solo. A fertilidade do solo, especialmente, a capacidade de fixação de fósforo, toxidez de alumínio e manganês, baixa capacidade de troca catiônica e escassez de nutrientes, concorrem para o baixo rendimento das forrageiras, sendo um problema ainda maior para as leguminosas, como é o caso da alfafa, dificultando uma exploração racional da atividade agropecuária no país (Paulino et al., 1986).

A baixa disponibilidade de fósforo é um dos fatores mais limitantes para o cultivo de pastagens na América Tropical. Cerca de 95% dos solos brasileiros são deficientes em P (Paulino et al., 1992), em consequência do tipo de solo e da baixa mobilidade do íon fosfato, como também da forte energia com que ele é retido pelas partículas do solo e pela pobreza deste elemento nos materiais de origem (Muggler et al., 1996).

Santos et al. (2002) afirmaram que a deficiência de P no solo, além de comprometer o valor nutritivo da forragem, diminui a capacidade de suporte das pastagens, e ainda compromete a maximização da exploração de leguminosas forrageiras, limitando a oportunidade de elevação dos níveis de proteína bruta na dieta animal.

A elevada participação dos fertilizantes no custo total de produção e, principalmente, a baixa eficiência de utilização dos fosfatos, requerem práticas alternativas para tornar o seu uso mais eficiente, visando uma atividade agropecuária mais eficaz no que se refere à diminuição de custos. Dentre essas práticas, destaca-se o manejo da simbiose micorrízica para melhoria da nutrição fosfatada, pois os estímulos ao crescimento das plantas, atribuídos aos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs), estão fortemente correlacionados com a maior acumulação de nutrientes de baixa mobilidade, em particular o fósforo (Moreira & Siqueira, 2006). Os vários processos bioquímicos envolvidos nesta relação simbiótica não acrescentam fósforo ao sistema solo-planta, mas podem aumentar o aproveitamento do fósforo do solo e dos fosfatos aplicados como adubos (De-Polli et al., 1988).

Tendo em vista o papel relevante da adubação fosfatada na produção e qualidade das plantas forrageiras e o seu custo relativamente alto para uso, torna-se de suma importância a busca de tecnologias que permitam reduzir o uso do fósforo, mantendo-se o adequado rendimento das forrageiras. Neste contexto, sugerem-se estudos com os fungos micorrízicos arbusculares que, além de potencializarem a absorção de nutrientes pelas forrageiras, são eficientes em condições de baixa disponibilidade de P, situação predominante na maioria dos solos tropicais.

Este trabalho teve como objetivo estudar a influência do fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* e da adubação fosfatada sobre a produção de matéria seca e o acúmulo de nutrientes na alfafa (*Medicago sativa* L.), cultivada em solo de baixa fertilidade.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de abril a agosto de 1999, em casa de vegetação do Setor de Forragicultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) em Lavras - MG. Utilizou-se uma amostra da camada superficial (0-20 cm) de um Latossolo Vermelho-Escuro Distrófico (LE), epiálico, A moderado, textura muito argilosa, fase floresta tropical subperenifólia, relevo plano, precedente do campus da UFLA. Após a coleta, a amostra do solo foi peneirada em malha de 2,0 mm e seca ao ar. Uma subamostra foi tomada para análises químicas e físicas no Laboratório de Fertilidade e Física do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Os resultados das análises químicas consistiram em: pH (H₂O) - 5,0; P (Mehlich 1) - 1,0 mg dm⁻³; K - 17,0 mg dm⁻³; Ca, Mg, Al e H+Al - 0,2, 0,1, 0,7 e 7,0 cmol_c dm⁻³, respectivamente; matéria orgânica - 3,3 dag kg⁻¹; argila, silte e areia - 700, 80 e 220 g kg⁻¹, respectivamente, determinados de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997). Em seguida, a amostra de solo foi submetida à calagem, pelo método da saturação por bases, para se elevar o valor V para 80%, utilizando-se calcário dolomítico calcinado micro pulverizado, com PRNT = 100%, e incubada por 20 dias em sacos plásticos antes da semeadura com as sementes da forrageira.

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, arranjado em esquema fatorial 5 x 3, com 5 repetições. Os tratamentos consistiram em cinco doses de P (30, 60, 120, 180 e 240 mg dm⁻³) e três condições de solo (natural; fumigado; fumigado e inoculado com o fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* Becker & Gerd). Com essas dosagens utilizadas, objetivou-se garantir disponibilidades de P que variassem de baixo a alto, conforme estudos realizados por Fontes (1994), Moreira (1997) e Yupanqui (1997).

A fumigação da amostra de solo foi realizada com brometo de metila na dose de 1,0 dm³.m⁻³ de solo por 72 horas, em caixa de cimento vedada por lona plástica, para eliminar propágulos de fungos micorrízicos nativos.

Utilizaram-se vasos com 5,7 kg de solo os quais receberam os tratamentos. Além das doses de P, foi aplicada uma adubação básica de semeadura que constou de 100 mg de K, 0,5 mg de B, 1,5 mg de Cu, 3,0 mg de Mn, 5,0 mg de Zn e 0,1 mg de Mo por kg de solo. As fontes utilizadas foram reagentes p.a.: KH₂PO₄, NaH₂PO₄, K₂SO₄, KCl, H₃PO₄, H₃BO₃, CuCl₂, MnCl₂.4H₂O, ZnSO₄.7H₂O, H₂MoO₄.H₂O. A adubação nitrogenada foi realizada em cobertura na fonte de nitrato de amônio (NH₄NO₃) na dosagem de 20 mg dm⁻³, em sete aplicações semanais a partir de 75 dias da semeadura.

Após a incubação das amostras de solo por uma semana nos vasos com P (30, 60, 120, 180 e 240 mg de P kg⁻¹ de solo) e da adubação básica, em umidade próxima da capacidade de campo, foram realizadas extrações de P (Mehlich 1), obtendo-se 2, 4, 8, 18 e 22 mg dm⁻³ de P, respectivamente, mostrados na Tabela 1.

A inoculação com o fungo micorrízico arbuscular foi feita no momento da semeadura, aplicando-se a 5,0 cm de profundidade e abaixo das sementes, 7,0 mL de solo-inóculo contendo raízes infectadas e pedaços de hifas, utilizando-se reci-

Tabela 1. Teores de fósforo no solo, recuperados após aplicação dos tratamentos de adubação fosfatada**Table 1.** Amounts of soil phosphorus recovered after application of phosphorus fertilizations

Doses	Valores de recuperados (mg/dm ³)	Interpretação ¹
30	2	Muito Baixo
60	4	Baixo
120	8	Médio
180	18	Muito Bom
240	22	Muito Bom

¹Para solos com teores de argila acima de 60%, conforme Alvarez et al. (1999)

plante plástico com esse exato volume, totalizando a aplicação de aproximadamente 245 esporos por vaso. O inóculo, da espécie micorrízica *Glomus etunicatum* Becker e Gerd, escolhido por sua efetividade e ocorrência comum na região, foi multiplicado por cinco meses em vasos contendo solo esterilizado, tendo como planta hospedeira a espécie *Brachiaria brizantha*. Posteriormente à emergência das plântulas, foram preparadas soluções com solo natural (solução A) e com o solo inóculo (solução B), obtidas por suspensão de 10 cm³ de solo em seis litros de água, seguida por tamização em peneiras com aberturas de 0,710 e 0,053 mm e filtragem em papel de filtro para eliminação de propágulos, com objetivo de equilibrar a microbiota entre os tratamentos. A solução A foi aplicada nos tratamentos com solo desinfestado e solo desinfestado e inoculado. A solução B foi aplicada nos tratamentos com solo natural e solo desinfestado.

As sementes da alfafa também foram previamente inoculadas com o *Rhizobium meliloti*, estirpe Br 7407, nas seguintes proporções de mistura: 1,5 g de turfa estéril, 0,5 mL de meio contendo o inóculo, 2,0 mL de água, misturando-se em 50 g de semente. Ambos os inoculantes, de micorriza e de rizóbio, foram cedidos pelo setor de Microbiologia do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA.

A semeadura foi efetuada em 9 de abril de 1999, utilizando-se 20 sementes de alfafa (*Medicago sativa* L. cv. Crioula) por vaso, sendo mantida a umidade nos vasos em 60% do volume total de poros (VTP), com uso de água desmineralizada, através de pesagens. Após 15 dias da emergência, procedeu-se o desbaste deixando-se cinco plântulas por vaso. A cultivar Crioula foi utilizada nesse estudo devido a sua boa adaptação às condições edafoclimáticas da Região Sul de Minas Gerais (Evangelista et al., 1997).

Decorridos 70 dias a partir da semeadura, procedeu-se à análise das formas de nitrogênio disponíveis no solo, comparando-se a fração de solo que sofreu o processo de fumação com o solo natural. Sub-amostras de 10 mL de solo coletadas a uma profundidade de 10 cm no vaso, foram agrupadas em uma amostra composta representativa de cada condição de solo (Tabela 2).

Os cortes da forragem foram realizados a 10 cm do solo, sempre quando as plantas atingiam 20% de florescimento, totalizando-se três cortes. O material colhido foi acondicionado em sacos de papel, previamente identificados. Esse material foi seco em estufa com circulação de ar a 65-70°C para obtenção da matéria seca. A parte aérea foi submetida à determinação da matéria seca a 105°C, como descrito pela me-

Tabela 2. Nitrogênio mineral no solo 70 dias após a semeadura¹**Table 2.** Mineral nitrogen in the soil 70 days after seeding¹

Condições de solo	N - Mineral (mg dm ⁻³)	
	N - NH ₄	N - NO ₃
Solo natural	13	13
Solo fumigado	13	26

¹Análise realizada no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas do DCS - UFLA, segundo metodologia descrita por Tedesco et al. (1995)

todologia de Horwitz (1975). Posteriormente, esse material foi moído e armazenado em frascos devidamente etiquetados para determinação do rendimento de proteína bruta pelo método de Kjeldahl, e dos teores de P, K, Ca, Mg e S pela metodologia descrita por Malavolta et al., (1989). Avaliou-se o ensaio através do somatório dos rendimentos dos cortes proporcionados por cada tratamento, no período experimental, os conteúdos foram obtidos através do produto, em cada corte, da matéria seca pelo teor do nutriente.

A produção de matéria seca da parte aérea, rendimento de proteína bruta, conteúdos de P, K, Ca, Mg, S e taxa de colonização micorrízica foram submetidos à análise de variância e regressão, utilizando-se o software Sisvar (Ferreira, 1998). Foram ajustadas equações de regressão para o estudo das variáveis mencionadas em função das doses de P aplicadas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Verificou-se efeito interativo significativo ($P < 0,05$) entre doses de P e as condições de solo para a produção total de matéria seca da parte aérea (PMSPA) da alfafa, indicando que a resposta ao P aplicado foi dependente da condição microbológica imposta.

Com o estudo do desdobramento da interação P x Solo, avaliando as respostas da PMSPA às doses de fósforo em cada condição de solo (Tabela 3), observou-se resposta linear para o intervalo estudado (Figura 1a). Comparando-se as médias de PMSPA promovidas pelos solos inoculado e fumigado dentro das diferentes doses estudadas, observou-se que a inoculação micorrízica promoveu aumentos, em termos absolutos, de 9,6, 11,9, 2,4, 1,09 e 1,15 vezes, respectivamente para as doses de 30, 60, 120, 180 e 240 mg de P kg⁻¹ de solo, apesar dos coeficientes angulares das equações estimadas apresentarem valores muito próximos (Figura 1a).

Esses resultados demonstraram que a inoculação com o fungo *Glomus etunicatum* promoveu incrementos no cresci-

Tabela 3. Produção de matéria seca da parte aérea (g vaso⁻¹) da alfafa, sob diferentes condições de solo e doses de fósforo**Table 3.** Production of shoot dry matter (g pot⁻¹) of alfalfa, under different soil conditions and phosphorus levels

Doses de P (mg.kg ⁻¹ de solo)	Condições de solo		
	Natural	Fumigado	Inoculado com FMA
30	0,36	0,18	1,74
60	1,56	1,19	14,14
120	8,08	15,21	36,21
180	33,65	43,69	47,57
240	43,17	54,79	62,96

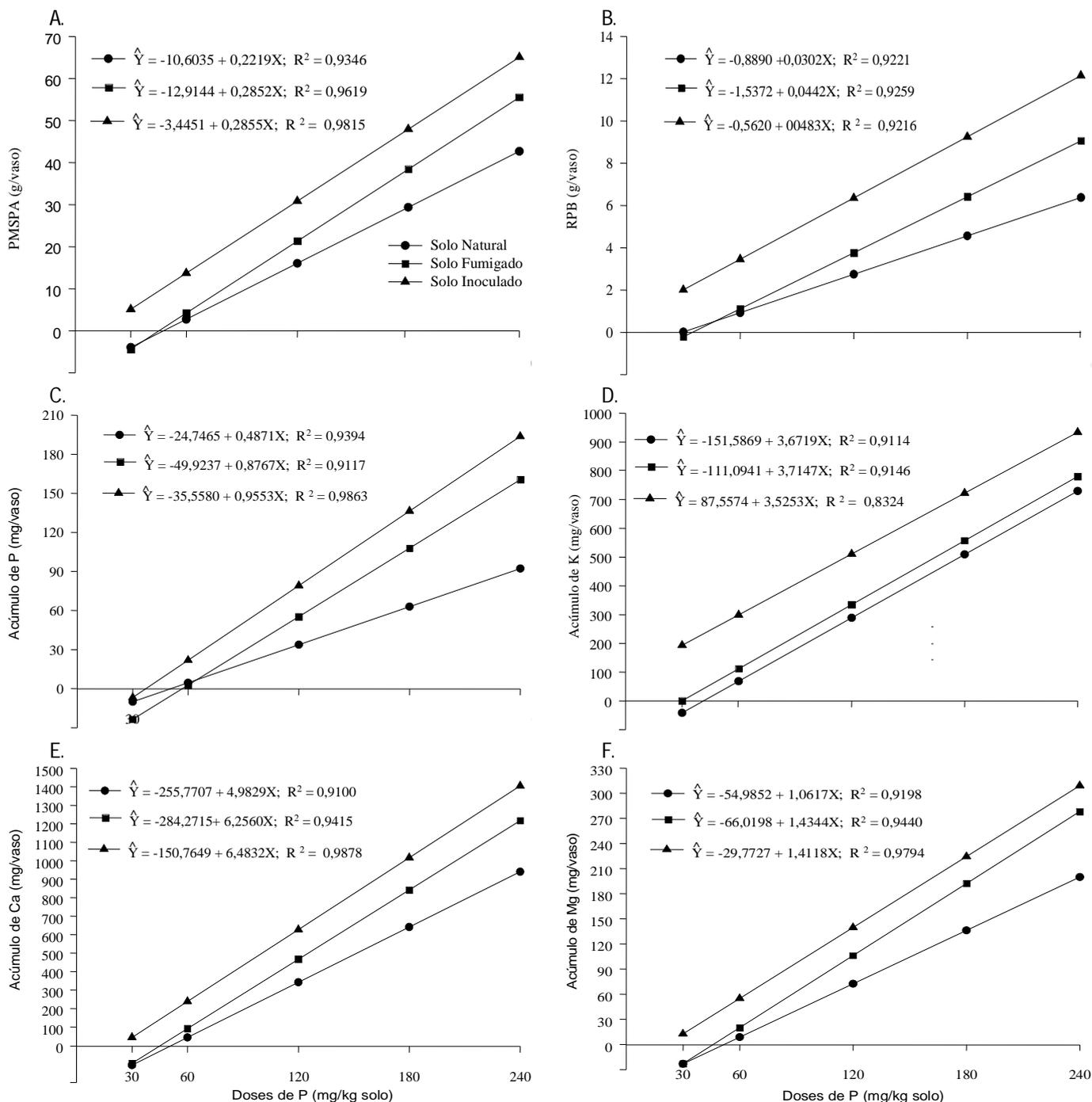


Figura 1. Produção de matéria seca da parte aérea (PMSPA) (a), rendimento de proteína bruta (b), acúmulo de fósforo (c), acúmulo de potássio (d), acúmulo de Ca (e), e acúmulo de magnésio (f) da alfalfa, cultivada sob diferentes condições microbiológicas de solo, em função das doses de fósforo aplicadas

Figure 1. Production of dry matter of the shoot (PMSPA) (a), average yield of crude protein (b), phosphorus accumulation (c), potassium accumulation (d), calcium accumulation (e) and magnesium accumulation (f) of the alfalfa, cultivated under different soil microbiological conditions, in function of phosphorus fertilizations

mento da alfalfa em todas as doses estudadas, sendo os maiores efeitos observados nas doses intermediárias de P, ou seja, teores de P variando de baixo a médio. Os resultados relacionam-se àqueles encontrados por Goicoechea et al. (1996), que relataram redução na dependência micorrízica com o avanço nas doses de P, sobre a alfalfa.

Em condições ótimas de fósforo disponível, a planta apresenta menor dependência pelo nutriente por via alternativa,

como é a associação micorrízica. Paulino et al. (1986) observaram este fato estudando a micorrização nas leguminosas forrageiras centrosema, soja perene, siratro e galáctia. Souza et al. (2000) e Santos et al. (2002) confirmaram esta observação estudando o estilosantes e o amendoim forrageiro, respectivamente. Esses autores tiveram em comum a constatação de modelo quadrático na resposta das plantas à adubação fosfatada. No entanto, Minhoni e Auler (2003) verificaram para

o mamoeiro, aumentos médios superiores nas variáveis de crescimento, conforme a adição de fósforo, em plantas inoculadas com FMA em relação às não inoculadas até a dose de 240 mg kg⁻¹ de P, em solo de textura média. Percebe-se, portanto, a influência da textura do solo na interação doses de P x inoculação micorrízica.

Apesar da redução do efeito da micorrização com o aumento das doses de fósforo, fato confirmado pelas taxas de colonização micorrízica (Figura 2b), pode-se supor que a alta capacidade de fixação de P do solo utilizado no estudo, permita respostas à inoculação micorrízica associada a níveis elevados de adubação fosfatada, pois as doses utilizadas proporcionaram níveis de disponibilidade de fósforo até 22 mg dm⁻³ (Tabela 1), sendo este superior aos níveis atualmente recomendados para a alfafa, cujos valores baseiam-se na elevação do teor de P disponível para 15 mg.dm⁻³ (Keplin, 1994).

Malavolta et al. (1974) afirmaram que as respostas das plantas à adubação fosfatada para um pleno crescimento são

variadas em função das condições físico-químicas dos solos, que determinam diferentes capacidades de suprimento da solução do solo, até mesmo entre solos de mesma classe textural. Moreira (1997), estudando o efeito de diferentes doses de P sobre o crescimento da alfafa em casa de vegetação (até 20 mg dm⁻³ disponível, usando extrator Mehlich 1, em solo argiloso), encontrou produção máxima de matéria seca com a dose 197,5 mg de P kg⁻¹ de solo, e o comportamento foi descrito por um modelo quadrático.

Também em casa de vegetação, Yupanqui (1997), estudando níveis críticos de P para se obter 90% da produção máxima da alfafa em diferentes solos, observou, que em um solo com características físico-químicas semelhantes ao utilizado no presente estudo, valores de 18,4 a 22,4 mg dm⁻³ P (extrator Mehlich 1) como sendo níveis adequados de disponibilidade para a cultura. Esses valores corresponderam à aplicação de 250,1 a 265,8 mg de P kg⁻¹ de solo. Numa condição sub-ótima de disponibilidade de fósforo, tomando-se como referência a dose 120 mg kg⁻¹ de solo (8 mg dm⁻³ de P disponível- Mehlich 1 no presente estudo), a micorrização promoveu no presente estudo, um incremento de PMSPA da ordem de 2,4 vezes em relação ao solo fumigado.

Considerando que 90% das análises de solo do Brasil revelam teores de fósforo inferiores a 10 mg dm⁻³ (Faquin, 1994), pode-se inferir que a micorrização sobre a alfafa pode gerar efeitos expressivos sobre o rendimento da cultura em solos tropicais, viabilizar sobremaneira o seu estabelecimento, produção e qualidade da forragem promovidos pela nutrição fosfatada, fato amplamente citado na literatura (Oliveira et al., 1999).

Observou-se, ainda, contribuição positiva promovida pelos fungos micorrízicos nativos (solo natural) em relação ao solo fumigado, nas doses 30 e 60 mg de P kg⁻¹ de solo, da ordem de 2,0 e 1,34 vezes, respectivamente, apesar de não terem sido apontadas diferenças significativas. Nas demais doses, verificou-se superioridade para os solos que sofreram o processo de fumigação, contrariando, em parte, os resultados obtidos por Souza et al. (2000), que estudando o estiramento em solo natural, fumigado e fumigado inoculado em diferentes níveis de adubação fosfatada, observaram que para o solo natural, a leguminosa mostrou resposta intermediária em produção de matéria seca entre os solos inoculado e solo apenas fumigado. Provavelmente, a liberação de nutrientes, em particular o nitrogênio na forma de nitrato causada pela fumigação (Tabela 2), tenha favorecido as plantas cultivadas nos solos que sofreram esse tratamento. Salienta-se ainda, a possibilidade de eliminação de patógenos de solo nos tratamentos com fumigação, o que não ocorreria no solo natural, permitindo a proliferação desses patógenos e inibindo o crescimento da alfafa neste tratamento. Minihoni & Auler (2003) relataram que a prática da fumigação de substrato para produção de mudas em viveiros, com brometo de metila, é uma das principais práticas para o controle de patógenos de solo e sementes de plantas daninhas.

A alfafa é reconhecida como excelente extratora tanto para fósforo, potássio e nitrogênio na forma de nitrato (Rasse & Smucker, 1999). Verificou-se neste estudo, que a maior disponibilidade de nitrato foi encontrada nos solos que receberam

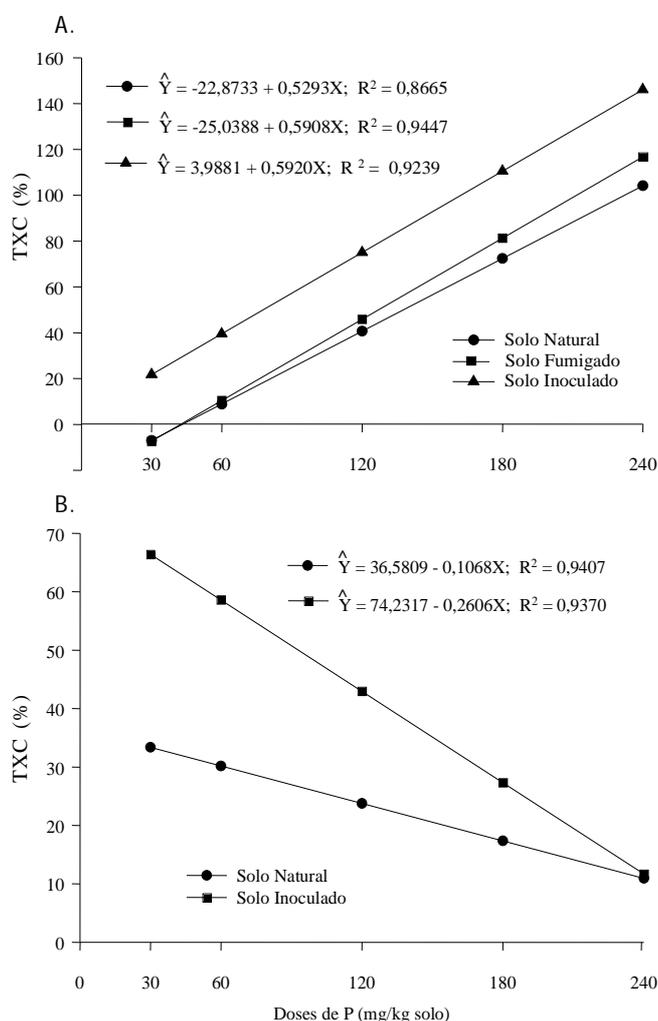


Figura 2. Acúmulo de enxofre (a) na matéria seca da parte aérea e taxa de colonização micorrízica da alfafa (b) cultivada sob diferentes condições de solo, em função das doses de fósforo aplicadas

Figure 2. Accumulation of sulfur (a) in the dry matter of shoot and rate of micorrhizal colonization of alfalfa (b) cultivated under different soil microbiology conditions, in function of phosphorus fertilizations

fumigação (Tabela 2). Esses autores comentaram ainda, que entre a fase inicial de germinação e a efetivação do processo simbiótico, a alfafa necessita de uma fonte de nitrogênio para sua manutenção em função da baixa quantidade de reservas da semente.

Supõe-se que as variações encontradas nas concentrações de N-NO₃ associado à possibilidade de presença de patógenos no solo não fumigado, tenham proporcionado comportamento diferenciado do solo natural quanto à produção de matéria seca, quando comparados aos demais solos, mascarando a contribuição dos fungos micorrízicos nativos. E dessa forma contrapondo-se aos resultados de Carneiro et al. (2007), que avaliaram a micorrização sobre o capim andropogon (com resposta intermediária para o solo natural) e aos de Souza et al. (2000) estudando a micorrização sobre o estilosantes (também com resposta intermediária para o solo natural).

Para o rendimento de proteína bruta (RPB) da alfafa verificou-se resposta significativa da interação doses de P x Condições microbiológicas do solo ($P < 0,05$) (Figura 1b). Destaca-se que tanto o RPB como o acúmulo dos demais nutrientes demonstrados a seguir seguiram o mesmo modelo linear encontrado para a produção de matéria seca da parte aérea, com valores de coeficiente de determinação próximos a 90% (R^2 apresentados após as equações nas Figuras 1 e 2). Carneiro et al. (2007) também encontraram maiores quantidades acumuladas de N, P, K, Ca, Mg e S na matéria seca do estilosantes em resposta ao P, quando inoculado com o fungo micorrízico *Glomus clarum*.

Comparando-se as médias de RPB promovidas pelos solos inoculado e fumigado dentro das diferentes doses estudadas, em termos absolutos, observou-se que a influência da inoculação micorrízica promoveu aumentos de rendimento equivalente a 8,9 vezes para a dose 30 mg de P; 12,1 vezes para a dose 60 mg de P; 2,2 vezes para a dose 120 mg de P; 1,14 vezes para a dose 180 mg de P e 1,41 vezes para dose 240 mg de P kg⁻¹ de solo, apesar dos coeficientes angulares das equações entre inoculado e fumigado apresentarem valores próximos (Figura 1b).

Follet & Wilkinson (1995) afirmaram que as associações micorrízicas com leguminosas em solos com alto teor de P têm aumentado a nodulação e fixação de N₂, e para as plantas não inoculadas observaram decréscimo acentuado no conteúdo de nitrogênio em relação às plantas micorrizadas. Trabalhos realizados por Barea & Azcon-Aguilar (1983), James et al. (1995), Goicoechea et al. (1996), Moreira (1997) e Yupanqui (1997), relataram que a dupla associação, *Rhizobium* - Fungo micorrízico, aumentou significativamente o crescimento, nodulação, produção de matéria seca, bem como os teores de N e P da planta. Fato confirmado no estudo em questão para a cultura da alfafa, verificando-se para o solo inoculado rendimentos superiores aos demais.

Observou-se resposta significativa da interação P x condições de solos ($P < 0,05$) para as quantidades acumuladas de P, K, Ca, Mg (gráficos c, d, e, f da Figura 1) e S (gráfico (a) da Figura 2) na matéria seca da alfafa. Demonstrando que, a alfafa nas condições estudadas, comporta-se de forma diferen-

ciada quanto à resposta ao fósforo para o acúmulo dos nutrientes mencionados.

Analisando-se o desdobramento, constatou-se superioridade em acúmulo dos nutrientes na matéria seca total produzida, no solo inoculado com FMA em relação ao solo fumigado. Foram verificados menores acúmulos dos nutrientes nas plantas cultivadas em solo natural, em função da limitação ao crescimento verificado nesta condição, fato que não permitiu expressar a influência da população nativa de FMA nesta condição de solo. Na Figura 2 (b), observam-se maiores níveis de colonização radicular para o tratamento com *Glomus etunicatum* em relação aos fungos micorrízicos nativos. Esta espécie também obteve melhor desempenho que os fungos nativos nos resultados de Souza et al. (2000) para o estilosantes. No entanto, pelos valores dos coeficientes angulares das equações observou-se maior sensibilidade na redução na taxa de colonização com o aumento das doses de P para o *Glomus etunicatum*, comparado aos fungos nativos.

Para os nutrientes estudados, foi observado que, com o aumento das doses de adubação fosfatada, os benefícios da inoculação micorrízica tenderam a diminuir, semelhante ao verificado na produção de matéria seca da parte aérea. Este fato também foi confirmado por Goicoechea (1996), Souza et al. (2000) e Santos et al. (2002), estudando micorriza e doses de P, respectivamente nas leguminosas, alfafa, estilosantes e amendoim forrageiro, o que se relaciona ao comportamento da taxa de colonização das raízes. No entanto, foi verificado no presente estudo, maiores acúmulos em todos os níveis de P, nas plantas cultivadas em solo inoculado com o *Glomus etunicatum* em relação ao fumigado não inoculado.

CONCLUSÕES

A adubação fosfatada e a inoculação micorrízica influenciaram positivamente a produção de matéria seca da parte aérea e o rendimento de proteína bruta da alfafa.

O incremento nas doses de adubação fosfatada e a inoculação micorrízica influenciam positivamente o acúmulo de P, K, Ca, Mg e S na forragem da alfafa.

Para o Latossolo Vermelho Escuro Distrófico, textura argilosa, verifica-se resposta significativa da micorrização na semeadura da alfafa, até mesmo em altas doses de adubação fosfatada, o que sugere alta aplicabilidade da inoculação micorrízica neste tipo de solo.

LITERATURA CITADA

- Alvarez, V.H.V., Novais, R.F., Barros, N.F., Cantarutti, R.B., Lopes, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: Ribeiro, A.C., Guimarães, P.T.G., Álvares, V.H.V. (Eds) Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª. Aproximação. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.25-32.
- Barea, J.M., Azcon-Aguilar, C. Mycorrhiza and their significance in nodulating nitrogen – fixing plants. *Advances in Agronomy*, v.36, n. 4, p.1-54, 1983.

- Barea, J.M., Azcon-Aguilar, C., Azcon, R. Effect de la interacción de fertilizantes solubles de P y micorrizas sobre la nodulación, micorrización y nutrición de la alfalfa. (*Medicago sativa* L.). *Ciência de Suelo*, v. 1, n. 1, p. 39-43, 1983.
- Carneiro, R.F.V., Martins, M.A., Freitas, M.S.M., Detmann, E., Vasquez, H.M. Inoculação micorrízica arbuscular e doses de fósforo na produção do capim-andropogon, em substrato não estéril. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v.2, n.3, p.212-218, 2007.
- De-Polli, H.; Franco, A.A.; Almeida, D.L.; Duque, F.F.; Monteiro, E.M. da; Döbereiner, J. A biologia do solo na agricultura. Rio de Janeiro : Embrapa-UAPNPBS, 1988. 48p. (Embrapa-UAPNPBS. Documentos, 5).
- Embrapa. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo: Manual de métodos de análise de solo. 4. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.
- Evangelista, A.R., Moulin, A.F.V., Gonçalves, F.G. Avaliação de 34 cultivares de alfafa para o Sul de Minas Gerais. In: Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 34, Juiz de Fora, 1997. Anais... Juiz de Fora: SBZ, 1997. p.145.
- Faquin, V. Nutrição Mineral de Plantas. Lavras: ESAL/FAEPE, 1994. 227p.
- Ferreira, D.F. Sistema de análise estatística para dados balanceados. Lavras: UFLA/DEX/SISVAR, 1998. 212p.
- Follet, R. F., Wilkinson, S. R. Nutrient management of forages. In: Barnes, R. F., Miller, D. A.; Nelson, C. J. (Ed.) Forages: the science of grassland agriculture. 5 ed. Ames, IA-USA: IA State University Press, 1995. p.55-82.
- Fontes, P. C. R.. Fertilização da cultura da alfafa. In: Botrel, M. A., Alvim, M. J., Passos, L. P. P., Vilela, D. (ed.) Workshop sobre potencial forrageiro da alfafa (*Medicago sativa*) nos trópicos. Juiz de Fora: EMBRAPA, 1994. p. 13-22.
- Goicoechea, N., Antolin, M.C., Strnad, M.. Root cytokinins, acid phosphatase and nodule activity in drought stressed mycorrhizal or nitrogen fixing alfalfa plants. *Journal of Experimental Botany*, v.47, n. 298, p.683-686, 1996.
- Horwitz, W.. Official methods of analysis of the association of tropical analytical chemistry. Washington: A. O. A. C., 1975. 1094p.
- James, D.W., Hurst, C.J., Tindall, T.A. Alfalfa cultivar response to phosphorus and potassium deficiency: biomass. *Journal of Plant Nutrition*, v.18, n. 11, p. 2447-2464, 1995.
- Keplin, L. S. A. Metodologia de estabelecimento e avaliação de alfafa sob condições de corte. In: Botrel, M.A., Alvim, M.J., Passos, L.P.P., Vilela, D. (ed.) Workshop sobre potencial forrageiro da alfafa (*Medicago sativa* L.) nos trópicos. Juiz de Fora: Embrapa, 1994. p. 29-36.
- Malavolta, E., Haag, H.P., Mello, F.A.F. Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas. São Paulo: Pioneira, 1974. 727p.
- Malavolta, E., Vitti, G.C., Oliveira, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 210p.
- Minhoni, M.T.A.; Auler, P.A.M. Efeito do fósforo, fumigação do substrato e fungo micorrízico arbuscular sobre o crescimento de plantas de mamoeiro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.5, p.841-847, 2003.
- Moreira, A. Efeito de fontes e doses de fósforo na alfafa (*Medicago sativa*) e centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.) e avaliação de extratores. Piracicaba, SP: ESALQ, 1997. 107 p. Dissertação Mestrado.
- Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O. Microbiologia e bioquímica do solo. Lavras, MG: UFLA, 2006. 626p.
- Muggler, C.C., Curi, N., Silva, M.L.N. Características pedológicas de ambientes agrícolas nos chapadões do rio Corrente, sudoeste da Bahia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.31, n. 2, p.221-232, 1996.
- Oliveira, P. P. A.; Oliveira, W. S.; Tsai, S. M. Associações simbióticas com a microbiota do solo. In: Simpósio sobre manejo da pastagem, 16, Piracicaba, 1999. Anais... Piracicaba: FEALQ, 1999. p.117-132.
- Paulino, V.T., Costa, N.L., Cardelli, M.A. Eficiência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e da adubação fosfatada em *Centrosema brasilianum* (L.) Benth. *Pasturas Tropicales*, v.14, n.3, p.14-17, 1992.
- Paulino, V.T., Ocampo, J.A., Bedmar, E.J. Interação *Rhizobium-MVA* na fixação de nitrogênio em leguminosas forrageiras tropicais cultivadas em meio inerte. In: Reunião brasileira sobre micorrizas, 1, Lavras, 1986. Anais... Lavras: FAEPE, 1986. p.169.
- Rasse, D.P., Smucker, J.M. Tillage effects on soil nitrogen and plant biomass in a corn-alfalfa rotation. *Journal of Environment Quality*, v.28, n 6, p.873-880, 1999.
- Santos, Í. P. A., Pinto, J. C., Siqueira, J. O., Morais, A. R., Santos, C. L. Influência do fósforo, micorriza e nitrogênio no conteúdo de minerais de *Brachiaria brizantha* e *Arachis pintoi* consorciados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.2, p.605-616, 2002.
- Souza, R. F., Pinto, J. C., Siqueira, J. O., Curi, N., Morais, A. R. Influência de micorriza e fósforo sobre o rendimento de matéria seca e qualidade de *A. gayanus* e *S. guianensis* cultivados em um Latossolo. *Pasturas Tropicales*, v.22, n.2, p.34-41, 2000.
- Tedesco, M.J., Gianello, C., Bissanic, A. Análise de solo, plantas e outros minerais. Porto Alegre: Departamento de Solos – UFRGS, 1995. 147 p.
- Yupanqui, F. F. R. Nutrição fosfatada e fotossíntese no sistema simbiótico *Medicago sativa* - *Rhizobium meliloti*. Viçosa, MG: UFV, 1997. 124p. Tese Doutorado.