

# INOCULAÇÃO MICORRÍZICA ARBUSCULAR E ADUBAÇÃO FOSFATADA NO CULTIVO DE FORRAGEIRAS CONSORCIADAS<sup>#</sup>

## PHOSPHORUS FERTILIZATION AND ARBUSCULAR MYCORRHIZAL INOCULATION IN CULTURE OF MIXED FORAGES

Carneiro, R.F.V.<sup>1</sup>, Martins, M.A.<sup>2</sup>, Araújo, A.S.F.<sup>3</sup> e Nunes, L.A.P.L.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>CPCE/UFPI. Bom Jesus, PI. Brasil. romero@ufpi.edu.br

<sup>2</sup>Laboratório de Solos. UENF. Campos dos Goytacazes, RJ. Brasil. marco@uenf.br

<sup>3</sup>CCA/DEAS/UFPI. Teresina, PI. Brasil. asfaruaj@yahoo.com.br; lanunes@ufpi.br

### PALAVRAS CHAVE ADICIONAIS

*Glomus clarum*. Inóculo nativo. Nutrição mineral.

### ADDITIONAL KEYWORDS

*Glomus clarum*. Mineral nutrition. Native inoculum.

### RESUMO

Objetivou-se avaliar, em casa de vegetação, a resposta do cultivo consorciado entre o capim-andropogon e o estilosantes à inoculação com fungos micorrízicos arbusculares e aplicação de doses de fósforo em solo não esterilizado (condições naturais). Foi utilizado um Latossolo Amarelo Distrófico típico. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, num esquema fatorial 4 x 3, sendo quatro doses de P (0, 60, 120 e 240 mg dm<sup>-3</sup> de solo) e três tratamentos microbiológicos (controle; inoculação com o fungo *Glomus clarum* e inoculação com o inóculo nativo), com 3 repetições. Realizou-se dois cortes da parte aérea, a cada 60 dias. Analisou-se a produção de matéria seca da parte aérea e raiz, os acúmulos de proteína bruta, P, K, Ca, Mg e S; porcentagem de colonização micorrízica em ambas as plantas e densidade de esporos. Os resultados demonstraram que o aumento das doses de P incrementaram significativamente as variáveis estudadas. Esses resultados foram evidenciados com a inoculação micorrízica, com destaque para a presença da espécie *Glomus clarum*, principalmente para o primeiro corte. A participação da leguminosa na matéria seca total do consórcio foi aumentada pela inoculação micorrízica nas menores doses de P. A colonização micorrízica e a densidade de esporos não foram influenciadas pelos tratamentos microbiológicos.

### SUMMARY

This work, carried out under greenhouse, had for objective to evaluate the response of the intercropped *Stylosanthes* and *Andropogon* grass to arbuscular mycorrhizal inoculation and levels of phosphorus in soil no sterilized (natural conditions). A randomized blocks design was used in a 4 x 3 factorial scheme (four phosphorus levels: 0, 60, 120 and 240 mg dm<sup>-3</sup> of soil) and three microbiology treatments (control; inoculation with *Glomus clarum* and inoculation with native inoculum) with three repetitions. Were accomplished two cuts of the aerial part, each 60 days. It was analyzed the production of dry matter of the aerial part and root, the accumulations of crude protein, P, K, Ca, Mg, and S, percentage of mycorrhizal colonization in both plants and density of spores. The results demonstrated that the increase of the doses of P increased significantly the studied variables. Those results were evidenced with the arbuscular mycorrhizal inoculation, specially for the species *Glomus clarum*, mainly for the first cut. The participation of the legume in the dry matter total of the mixture was increased by the arbuscular mycorrhizal inoculation in the smallest levels of P. The mycorrhizal colonization and the density of spores were not affected by the microbiology treatments.

### INTRODUÇÃO

Em extensas áreas pastoris, a produtividade e valor nutricional das forrageiras

<sup>#</sup>Projeto financiado pela Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

são baixos em decorrência, principalmente, do desbalanço entre a exigência nutricional da planta forrageira e a capacidade de fornecimento de nutrientes do solo. A fertilidade do solo, especialmente a capacidade de fixação de fósforo, toxidez de alumínio e manganês, a baixa capacidade de troca catiônica e a escassez de nutrientes concorrem para baixos índices zootécnicos, dificultando uma exploração racional e econômica da pecuária no Brasil (Martha Júnior *et al.*, 2007), levando o ecossistema das pastagens a conviver com um cenário de degradação que, em algum estágio, já afeta dois terços da sua área na região do cerrado brasileiro. Segundo Cadisch *et al.* (1994), a introdução de leguminosas além de melhorar a qualidade da dieta para os animais, auxilia na prevenção da degradação das pastagens, principalmente pelo aumento do aporte de N ao ecossistema.

O consórcio entre gramíneas e leguminosas tem mostrado vantagens sobre o monocultivo de gramíneas, quanto ao desempenho animal (Valentim *et al.*, 2001), entretanto, alguns resultados relataram algumas causas de insucesso como a possibilidade de efeitos alelopáticos de gramíneas sobre as leguminosas e falta de compatibilidade ecofisiológica entre espécies (Souza *et al.*, 2005 e 2006), levando a uma baixa persistência da leguminosa.

Entretanto, destaca-se o potencial do consórcio entre o andropogon e o estilosantes (Zimmer e Euclides, 2000). O capim andropogon (*Andropogon gayanus* cv. planaltina), apresenta boa adaptação a solos ácidos, uma vez que tem alta tolerância a Al e baixa exigência em P e Ca, além da elevada profundidade do sistema radicular, o que confere tolerância à seca. Entre suas características agrônomicas mais favoráveis para utilização consorciada, destaca-se o baixo crescimento relativo inicial, o que reduz a agressividade sobre a leguminosa (Bomfim *et al.*, 2003). Assim como o capim-andropogon, tem sido relatado o potencial do estilosantes cv. mineirão (*Stylosanthes*

*guianensis* (Aubl.) cv. mineirão) para consorciação com gramíneas, e destaca-se sua capacidade de nodulação com estirpes nativas de *Rhizobium*, além da alta resistência a seca e elevada dependência micorrízica (Carneiro *et al.*, 2010).

As micorrizas arbusculares são associações simbióticas mutualistas entre raízes de plantas e fungos do filo Glomeromycota (Schussler *et al.*, 2001), que favorecem o crescimento e aquisição de nutrientes pela grande maioria das plantas exploradas com interesse econômico. Nas últimas décadas, sobretudo pelo reconhecimento da importância funcional e ecológica desta simbiose, a importância dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) tornou-se mais evidente.

Neste contexto, o manejo de insumos biológicos como os fungos micorrízicos arbusculares, que potencializam o influxo de nutrientes de baixa mobilidade no sistema solo-planta, podem tornar-se estratégia para um melhor estabelecimento e persistência de leguminosas nos cultivos consorciados com gramíneas (Miranda *et al.*, 2008). Assim, formulou-se a hipótese de que a inoculação micorrízica arbuscular associada a doses de P, pode indicar as condições de persistência do estilosantes no consórcio com o capim andropogon, além de potencializar o crescimento e acúmulo de nutrientes no sistema consorciado.

Este estudo teve como objetivo estudar a influência da inoculação com fungos micorrízicos arbusculares em solo sob condições microbiológicas naturais, sobre o crescimento e aquisição de nutrientes pelo capim-andropogon e estilosantes no cultivo consorciado, sob aplicação de doses crescentes de fósforo.

## MATERIALE MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade

## INOCULAÇÃO MICORRÍZICA NO CONSÓRCIO GRAMÍNEA-LEGUMINOSA

Estadual do Norte Fluminense (UENF), no período de novembro de 2003 a fevereiro de 2004. Utilizou-se uma amostra da camada superficial (0-20 cm) de um Latossolo Amarelo Distrófico típico conforme Santos *et al.* (2006) sob pastagem nativa de capim pernambuco (*Paspalum* sp.). Após a coleta, a amostra do solo foi peneirada em malha de 2,0 mm e seco ao ar. Uma sub-amostra foi tomada para análises físico-químicas. Os resultados foram: pH em água -5,3; P (Mehlich 1) 4,0 mg dm<sup>-3</sup>; K -60,0 mg dm<sup>-3</sup>; Ca, Mg, Al, H+Al e Na -1,6, 0,6, 0,2, 3,5 e 0,03 cmolc dm<sup>-3</sup>, respectivamente; matéria orgânica - 17,9 g dm<sup>-3</sup>; argila, silte e areia -32, 8 e 60%, respectivamente, e a densidade média de esporos de FMA (a partir de 20 amostras ao acaso após peneiramento) foi de 24 esporos em 65 g de solo. Em seguida, a amostra foi submetida à calagem, pelo método da saturação por bases para se elevar o valor V para 60%, utilizando-se o calcário magnesiano comercial, com PRNT= 90%, e incubado por 20 dias em sacos plásticos.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, arranjado em esquema fatorial 4 x 3, com 3 repetições, sendo os fatores: quatro doses de P (0, 60, 120, e 240 mg dm<sup>-3</sup>) e três condições de solo (controle não inoculado-condição microbiológica natural, solo inoculado com o FMA-*Glomus clarum* e solo reinoculado com os FMAs-nativos).

Além das doses de P, foi realizada adubação básica de semeadura, segundo Souza *et al.* (2000), que constou da aplicação de 30; 100; 0,5; 1,5; 3; 5 e 0,1 mg dm<sup>-3</sup> de solo em N, K, B, Cu, Mn, Zn e Mo, respectivamente. As fontes utilizadas no preparo das soluções para adubação das parcelas foram os reagentes p.a.: NH<sub>4</sub>SO<sub>4</sub>, KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, NaH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KCl, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, CuCl<sub>2</sub>, MnCl<sub>2</sub>.4H<sub>2</sub>O, ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O.

Os inóculos utilizados foram previamente multiplicados em substrato solo:areia (proporção 2:1), autoclavado a 120°C por duas horas, tendo a *Brachiaria brizantha*

como espécie hospedeira em vasos de três litros. O inóculo nativo foi obtido na área destinada a coleta do solo a ser utilizado no experimento. Após misturar 50 ml de solo na superfície do vaso com o substrato solo:areia autoclavado, a braquiária foi semeada e cultivada por um período de 90 dias. O mesmo procedimento foi adotado para obtenção do inóculo *Glomus clarum*, no entanto, a alíquota de 50 ml vaso<sup>-1</sup>, foi retirada da câmara fria da coleção de FMA do laboratório de Microbiologia do Solo da UENF.

Para implantação do experimento, uma vez obtido os inóculos, o procedimento de inoculação foi efetuado no momento da semeadura, aplicando-se a 5,0 cm de profundidade e abaixo das sementes, 300 ml (5% do volume do vaso de 6 l) de substrato inóculo contendo esporos, raízes infectadas e pedaços de hifas. O inóculo, da espécie micorrízica *Glomus clarum*, foi escolhido por sua efetividade demonstrada por trabalhos conduzidos na região (Schiavo e Martins, 2002; Rodrigues *et al.*, 2003).

A contagem de esporos de FMA no substrato-inóculo para os tratamentos *Glomus clarum* e inóculo nativo foi de 488 e 298 em 65 g, respectivamente.

Posteriormente à emergência das plântulas do estilosantes, foram preparadas soluções com o substrato inóculo contendo a espécie *Glomus clarum* (solução A) e com o solo contendo o inóculo nativo (solução B), obtidas por suspensão de 10 cm<sup>3</sup> 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. Este procedimento teve como objetivo equilibrar a microbiota entre os tratamentos. As soluções obtidas foram aplicadas em todas as parcelas do experimento.

A semeadura foi efetuada utilizando-se sementes do estilosantes e 10 sementes de *Andropogon gayanus* cv. planaltina por vaso, deixando-se posteriormente, 2 plan-

tas de cada espécie por vaso. A umidade do solo foi mantida através de pesagens diárias dos vasos, amostrando-se aleatoriamente um vaso de cada dose de P, definindo-se, a partir daí, as quantidades de água em base peso, a serem repostas. Esse controle da umidade foi realizado baseando-se na manutenção de água em 60% do volume total de poros (VTP), definidos pela equação:

$$\text{VTP} = 1 - D_s/D_p$$

onde:

$D_s$  = densidade do solo;

$D_p$  = densidade de partículas.

Os cortes foram realizados a 10 cm do solo, em intervalos de 60 dias, o que coincidia (nas condições de casa de vegetação) com início de surgimento das primeiras folhas senescentes. O material colhido foi acondicionado em sacos de papel, previamente identificados e separado por espécie. Esse material foi seco em estufa com circulação de ar a 65-70°C por 72 horas para obtenção da matéria seca. 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 segundo metodologia descrita por Malavolta *et al.* (1989).

Para cada espécie, foram retiradas amostras de radículas (nas porções superiores, medianas e terminais do sistema radicular) e colocadas no conservante álcool 50% para posterior avaliação da colonização micorrízica. Nesta avaliação foi utilizado o método descrito por Giovannetti e Mosse (1980).

Para a quantificação de esporos no solo, as amostras compostas de 65 g de solo foram submetidas ao método de decantação e peneiramento úmido, segundo Gerdemann e Nicolson (1963), seguida de centrifugação em água por três minutos e em sacarose 50% por dois minutos. No material obtido, foi feita a contagem de esporos, com auxílio de

microscópio.

Após a realização da análise de variância, procedeu-se o ajustamento de equações de regressão linear em superfície de resposta, incluindo-se o fator qualitativo tratamentos microbiológicos por intermédio de variáveis Dummy (Draper e Smith, 1996), adotando-se o modelo básico:

$$Y_i = b_0 + b_1D_1 + b_2D_2 + b_3P_1 + b_4P_1^2 + b_5D_1P_1 + b_6D_2P_1 + e_{ij}$$

onde:

$b_0$  = intercepto;

$b_j$  = coeficientes de regressão, sendo  $j = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ ;

$D_1$  e  $D_2$  = variáveis Dummy para o ajustamento com o fator categórico tratamento microbiológico, sendo  $D_1 = 0$  e  $D_2 = 0$  para o tratamento microbiológico controle;  $D_1 = 1$  e  $D_2 = 0$  para o tratamento microbiológico *Glomus clarum*;  $D_1 = 0$  e  $D_2 = 1$  para o tratamento microbiológico inóculo nativo;

$P_1$  = dose de adubação fosfatada;

$e_{ij}$  = erro aleatório, associado a cada observação, pressuposto NID (0,  $\sigma^2$ ).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados em relação à produção de matéria seca da parte aérea (MS), no primeiro corte, permitiram verificar efeito de doses de P e tratamentos microbiológicos com independência entre os fatores (**tabela I, figura 1a**), seguindo modelo quadrático de regressão. Estimou-se a necessidade da aplicação de 142,6 mg dm<sup>-3</sup> de P para alcançar uma produção máxima de 17,8 g de MS vaso<sup>-1</sup> no tratamento microbiológico controle. Para qualquer dose de P aplicada, a inoculação com *Glomus clarum* e inóculo nativo promovem incrementos na produção em 3,1 e 3,4 g vaso<sup>-1</sup> de MS ou 17,4 e 19,1%, na dose de máxima produção, respectivamente. No segundo corte, verificou-se efeito apenas para o fator doses de P com comportamento quadrático (**tabela I**), independente do tratamento microbiológico. Estimou-se a necessidade da aplicação de 116,9 mg dm<sup>-3</sup> de P para atingir uma

## INOCULAÇÃO MICORRÍZICA NO CONSÓRCIO GRAMÍNEA-LEGUMINOSA

produção máxima de 24,4 g de MS vaso<sup>-1</sup> da parte aérea.

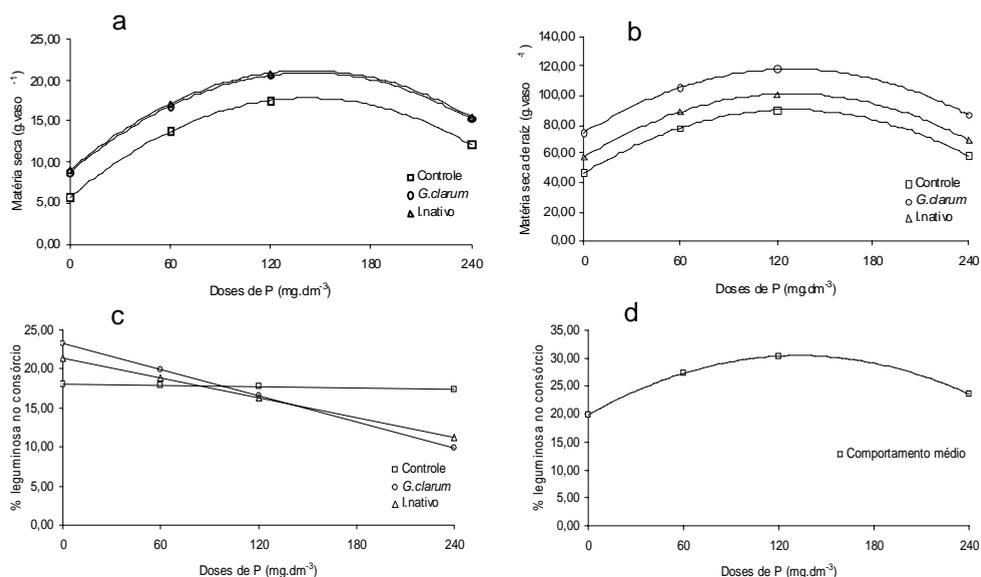
A grande maioria dos resultados sobre influência de FMA na nutrição de plantas foram obtidos em solo estéril, para maximizar a influência dos FMAs (Carneiro *et al.*, 2002). O presente estudo iniciou-se em solo já com uma contagem de 24 esporos em 65 g de solo, valor este que não inibiu a influência dos tratamentos de inoculação. Cavalcante *et al.* (2002) observaram ausência de interação entre esporos aplicados e espécies de FMA para o crescimento de mudas do maracujazeiro. No entanto, biomassas secas da parte aérea e área foliar atingiram valores máximos no tratamento com 300 esporos planta<sup>-1</sup>.

Na produção de matéria seca do sistema radicular (MSR) verificou-se efeito de P e tratamentos microbiológicos, com uma maior amplitude dos efeitos da inoculação em

relação à MS da parte aérea (**figura 1b**). Estimou-se a necessidade da aplicação de 129,3 mg dm<sup>-3</sup> de P para um crescimento máximo de 90,1 g vaso<sup>-1</sup> de MSR no tratamento controle. Para qualquer dose de P aplicada, a inoculação com *Glomus clarum* e inóculo nativo promoveram incrementos em 27,9 e 10,9 g vaso<sup>-1</sup> de MSR ou 30,9 e 12,2% a mais, na dose de maior crescimento de raízes, respectivamente.

Na participação da leguminosa (estilosantes) na matéria seca total do consórcio, verificou-se interação significativa (**tabela I**) entre doses de P e tratamentos microbiológicos, para o primeiro corte. Estudando as doses de P dentro dos tratamentos microbiológicos, ajustou-se significativamente o modelo linear (**tabela I, figura 1c**) como o que melhor descreveu o comportamento dos dados.

Verificou-se que, para o tratamento



**Figura 1.** - Estimativa da produção de matéria seca (g vaso<sup>-1</sup>) da parte aérea (a) e raiz (b); e porcentagem da leguminosa na matéria seca total do consórcio entre capim-andropogon e estilosantes no corte 1 (c) e corte 2 (d) em função de doses de fósforo e tratamentos microbiológicos. (Estimates of dry matter production (g pot<sup>-1</sup>) of shoot (a) and root (b); and percentage of legume plant in the total dry matter of mixture crop between *Andropogon* grass and *Stylosanthes* in the cut 1 (c) and cut 2 (d) in function of phosphorus levels and microbiology treatments).

controle, houve discreta redução na %LEG com o aumento das doses de P. Para cada mg dm<sup>-3</sup> de P adicionado, ocorreu uma redução de 0,0026 ponto percentual na participação da leguminosa. Nos tratamentos de inoculação, essa redução foi mais acentuada. Para as inoculações com o fungo *Glomus clarum* e inóculo nativo as reduções foram de 0,0556 e 0,0421 ponto percentual para cada mg dm<sup>-3</sup> de P adicionado, respectivamente. Entretanto, nas menores doses de P a inoculação, tanto com *Glomus clarum*,

quanto com o inóculo nativo, favoreceram o aumento na %LEG (**figura 1c**). Nas maiores doses, verificaram-se tendências de redução na %LEG. No segundo corte, o comportamento da %LEG foi descrito por modelo quadrático, sem efeito dos tratamentos microbiológicos (**tabela I, figura 1d**). Estimou-se a dose de 132,6 mg dm<sup>-3</sup> de P para uma porcentagem máxima de 30,5%.

A permanência da leguminosa no sistema consorciado é condicionada à adoção de práticas de manejo que reduzam a

**Tabela I.** Estimativa de parâmetros de regressão e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) para as variáveis resposta: matéria seca da parte aérea (MS) e raiz (MSR), porcentagem da leguminosa no consórcio (%LEG), acúmulo de proteína bruta (PB), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S); porcentagem de colonização micorrizica (COL) e densidade de esporos (DE); em dois cortes no consórcio entre capim-andropogon e estilosantes. (Estimate of regression parameters and determination coefficients (R<sup>2</sup>) for the response variables: dry matter of the aerial part (MS) and root (MSR), percentage of legume plant in the mixture crop (%LEG), accumulation of crude protein (PB), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), sulfur (S); percentage of mycorrhizal colonization (COL) and density of spores (DE); in two cuts in the mixture crop between Andropogon grass and Stylosanthes).

Var <sup>1</sup> . Corte	Estimativas de parâmetros								
	Intercepto	P	P2	D1	D2	PxD1	PxD2	R <sup>2</sup>	
MS	1	5,6459	0,1711	-0,0006	3,0925	3,3783	-	-	0,87
	2	18,9770	0,0935	-0,0004	-	-	-	-	0,74
MSR	-	46,6237	0,6724	-0,0026	27,8841	10,9891	-	-	0,77
%LEG	1	18,0587	-0,0016	-	5,2100	3,3040	-0,053	-0,039	0,70
	2	19,8999	0,1592	-0,0006	-	-	-	-	0,72
PB	1	736,5410	5,8138	-0,0210	179,826	132,423	-	-	0,80
	2	918,2309	9,5840	-0,0355	-	-	-	-	0,92
P	1	3,9243	0,4739	-0,0014	4,4667	5,6475	-	-	0,98
	2	10,2022	0,4673	-0,0012	-	-	-	-	0,97
K	1	118,2226	2,6561	-0,0085	72,5193	61,4327	-0,377	-0,318	0,81
	2	196,8758	-0,6625	0,0018	-	-	-	-	0,72
Ca	1	31,4716	0,9209	-0,0033	14,3258	10,0775	-	-	0,89
	2	124,7433	1,4211	-0,0060	-	-	-	-	0,69
Mg	1	7,5944	0,3430	-0,0011	4,2883	3,9817	-	-	0,97
	2	33,1954	0,6479	-0,0024	-	-	-	-	0,90
S	1	10,5588	0,2145	-0,0008	-	-	-	-	0,88
	2	18,4189	0,2547	-0,0009	-	-	-	-	0,80
COL	A <sup>2</sup>	61,5657	-0,4667	0,0011	-	-	-	-	0,96
	E <sup>3</sup>	56,8889	-0,1741	-	-	-	-	-	0,94
DE	-	544,4444	-1,8995	-	-	-	-	-	0,79

<sup>1</sup>Variáveis; <sup>2</sup>Andropogon; <sup>3</sup>Estilosantes.

## INOCULAÇÃO MICORRÍZICA NO CONSÓRCIO GRAMÍNEA-LEGUMINOSA

competição da gramínea (Andrade *et al.*, 2006), assim, a micorrização parece minimizar essa competição, principalmente nos estágios iniciais de crescimento.

Santos *et al.* (2001), ao analisar a participação de braquiário (*Brachiaria brizantha*) e amendoim forrageiro (*Arachis pintoi*) em consórcio, verificaram que, enquanto a gramínea aumentou sua participação no consórcio, a leguminosa foi sendo suprimida com a elevação das doses de P. Os autores avaliaram a inoculação com FMA em presença ou não de adubação nitrogenada, e verificaram que a inoculação com FMA pode ser prejudicial à %LEG, quando o suprimento de nitrogênio é adequado. No presente estudo não se avaliou adubação nitrogenada, sendo a dose 30 mg dm<sup>-3</sup> aplicada como dose única. Supõe-se que essa dose possa ter fornecido suprimento adequado em nitrogênio, razão pela qual os resultados se assemelharam aos obtidos pelos referidos autores, apenas nas doses elevadas de P. Salienta-se ainda, conforme Carneiro e Martins (2008), a possibilidade de parasitismo da micorriza sobre a planta hospedeira em condição de adequado suprimento de P. Em doses menores de P, provável condição de deficiência do nutriente no solo, a inoculação com FMA promoveu efeito positivo na %LEG. Assim, a participação da leguminosa foi maximizada pela micorrização em condição de baixo P.

Por ser o estilosantes uma planta altamente dependente ao micotrofismo (Trannin *et al.*, 2000; Carneiro *et al.*, 2010), esta poderá valer-se de tal associação e promover o benefício global do sistema consorciado, tanto pela melhoria na qualidade da forragem produzida, quanto pelo aumento da sua persistência.

As quantidades acumuladas de proteína bruta (PB), fósforo, cálcio e magnésio no primeiro corte seguiram comportamento semelhante à MS da parte aérea, com efeito significativo ( $p < 0,05$ ) para doses de P e tratamentos microbiológicos, com inde-

pendência entre os mesmos e descrevendo-se o modelo quadrático para as doses (**tabela I, figuras 2a, 2b, 2d e 2e**). No segundo corte, não houve efeito de tratamentos microbiológicos para as variáveis mencionadas, constatando-se efeito apenas de doses de P (**tabela I e figura 2f**).

Estimou-se a necessidade da aplicação de 138,4 mg dm<sup>-3</sup> de P para alcançar um acúmulo máximo de 1138,9 mg vaso<sup>-1</sup> de PB no tratamento microbiológico controle. Para qualquer dose de P aplicada, as inoculações com *Glomus clarum* e inóculo nativo promoveram incrementos na quantidade acumulada de PB em 179,8 e 132,4 mg vaso<sup>-1</sup> ou 15,8 e 11,6%, na dose de máximo acúmulo, respectivamente. No segundo corte, estimou-se a dose de 135,0 mg dm<sup>-3</sup> de P para um acúmulo máximo de 1565,0 mg vaso<sup>-1</sup> de proteína bruta (**tabela I**).

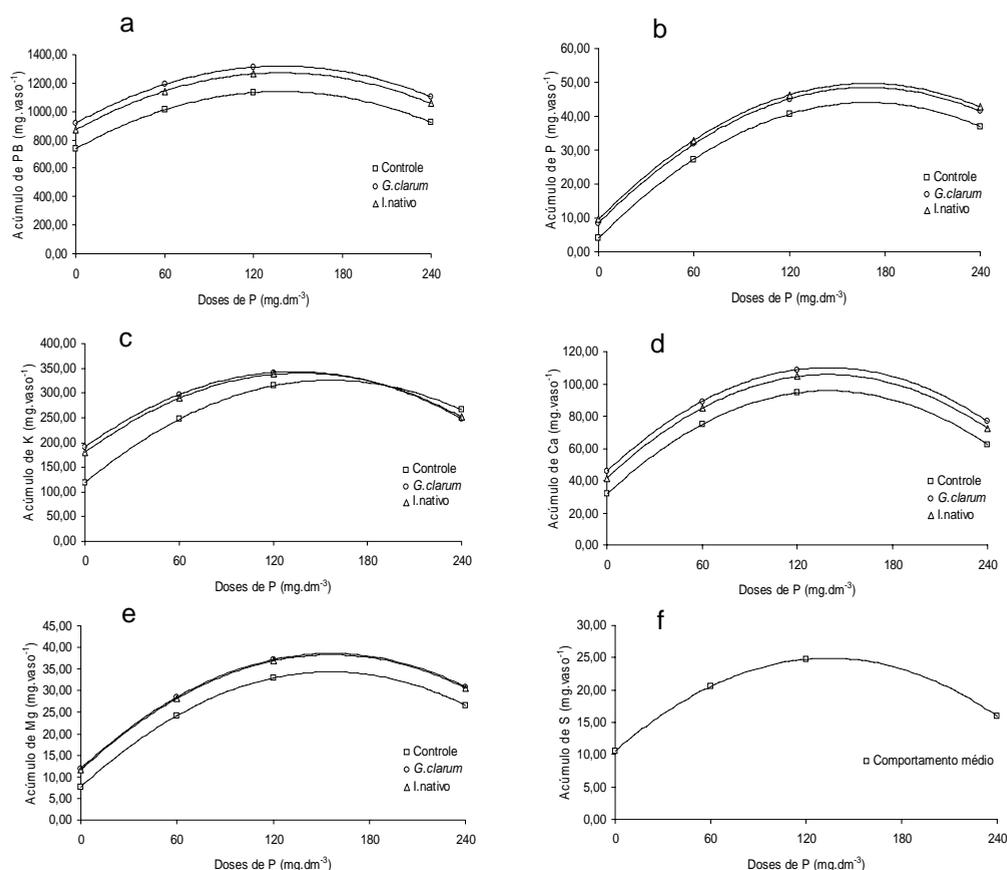
Uma das causas da baixa adoção das leguminosas forrageiras em áreas de pastagens tem sido atribuída à baixa persistência das mesmas. Trannin *et al.* (2000) estudaram o papel da micorriza na dinâmica do N em pastagens consorciadas entre o estilosantes cv. mineirão e a *Brachiaria decumbens*. Verificaram que o desenvolvimento da leguminosa era severamente restringido pela competição com a gramínea. O estilosantes mostrou-se altamente micotrófico e a inoculação com *Glomus clarum* favoreceu o rápido estabelecimento da leguminosa em tratamentos sem uso de barreira entre raízes. Nesta condição, a proporção de N proveniente da fixação de N<sub>2</sub> foi positivamente afetada por FMA e, conforme os autores, ampliar os conhecimentos a cerca da ecofisiologia deste micotrofismo pode levar ao aumento de persistência de leguminosas nas áreas de pastagens.

Os autores, citados anteriormente, ainda relataram que nenhum efeito direto significativo de transferência de N ocorreu da leguminosa para a gramínea, durante a fase de crescimento da leguminosa e que, em

solos tropicais, esta provavelmente mantém uma reciclagem altamente eficiente em condição limitada de N. No entanto, afirmaram que a simbiose micorrizica pode incrementar esta habilidade principalmente na condição de baixo teor de P disponível no solo, o que é característica marcante dos solos no Brasil. Para o fósforo, estimou-se a necessidade da aplicação de 169,2 mg dm<sup>-3</sup> de P para atingir um acúmulo máximo

de 44 mg vaso<sup>-1</sup> no tratamento microbiológico controle. Para qualquer dose de P aplicada, as inoculações com *Glomus clarum* e inóculo nativo promoveram incrementos em 4,5 e 5,6 mg vaso<sup>-1</sup> ou 10,2 e 12,9%, na dose de máximo acúmulo, respectivamente. No segundo corte, estimou-se a dose de 194,7 mg dm<sup>-3</sup> de P para um acúmulo máximo de 55,7 mg vaso<sup>-1</sup> de P.

Para o cálcio estimou-se a aplicação de



**Figura 2.** Estimativas de acúmulo em (mg vaso<sup>-1</sup>) de proteína bruta (a), fósforo (b), potássio (c), cálcio (d), magnésio (e) e enxofre (f) na matéria seca total do consórcio entre capim-andropogon e estilosantes em função de doses de fósforo e de acordo com os tratamentos microbiológicos no primeiro corte da parte aérea. (Estimates of accumulated amounts in (mg pot<sup>-1</sup>) of crude protein (a), phosphorus (b), potassium (c), calcium (d), magnesium (e) and sulfur (f) in the total dry matter of mixture crop between *Andropogon* grass and *Stylosanthes* in function of phosphorus levels and microbiology treatments in the first cut of shoot).

## INOCULAÇÃO MICORRÍZICA NO CONSÓRCIO GRAMÍNEA-LEGUMINOSA

139,5 mg dm<sup>-3</sup> de P para alcançar um acúmulo máximo de 95,7 mg vaso<sup>-1</sup>, no tratamento microbiológico controle. Para qualquer dose de P aplicada, as inoculações com *Glomus clarum* e inóculo nativo promoveram incrementos em 14,3 e 10,1 mg vaso<sup>-1</sup> ou 14,9 e 10,5%, na dose de máximo acúmulo, respectivamente. No segundo corte, estimou-se a dose de 118,4 mg dm<sup>-3</sup> de P para um acúmulo máximo de 208,9 mg vaso<sup>-1</sup> de Ca.

Para o acúmulo de magnésio estimou-se a dose de 155,9 mg dm<sup>-3</sup> de P para um acúmulo máximo de 34,3 mg vaso<sup>-1</sup> no tratamento microbiológico controle. Em qualquer dose de P aplicada, as inoculações com *Glomus clarum* e inóculo nativo promoveram incrementos em 4,3 e 3,9 mg vaso<sup>-1</sup> ou 12,5 e 11,1%, na dose de máximo acúmulo de Mg, respectivamente. No segundo corte, estimou-se a dose de 135,0 mg dm<sup>-3</sup> de P para um acúmulo máximo de 76,9 mg vaso<sup>-1</sup> de Mg.

Verificou-se interação significativa P x tratamento microbiológico (**tabela I, figura 2c**) para o acúmulo de K, no primeiro corte. Estudando o efeito das doses de P para os tratamentos microbiológicos, observou-se que os tratamentos de inoculação se sobressaíram em relação ao controle, principalmente nas doses inferiores aplicadas. Os benefícios da inoculação tenderam a diminuir com o aumento das doses, sendo o efeito das doses descrito pelo modelo quadrático em todos os tratamentos microbiológicos (**figura 2c**).

Para o acúmulo de 325,7 mg vaso<sup>-1</sup> de K, que correspondeu ao acúmulo máximo obtido no tratamento controle, estimou-se a necessidade da aplicação de 156,2; 88,7 e 96,2 mg dm<sup>-3</sup> de P, nos tratamentos controle, *Glomus clarum* e inóculo nativo, respectivamente. Isso representou uma redução das necessidades em P da ordem de 43,2%, quando inoculado com o *Glomus clarum* e 38,3%, quando inoculado com o inóculo nativo.

No segundo corte, ajustou-se modelo quadrático (**tabela I**), com discreta redução

no acúmulo de K com o aumento das doses de P. O acúmulo mínimo foi de 35,9 mg vaso<sup>-1</sup> para a dose de 184,0 mg dm<sup>-3</sup>. Comportamento semelhante também foi descrito por Santos *et al.* (2001) no consórcio braquiária/amendoim forrageiro. Os autores discutiram que os efeitos dos FMAs sobre o conteúdo de nutrientes na matéria seca das plantas, podem resultar da ação direta do fungo sobre os mecanismos de absorção, de efeitos secundários resultantes das interações no processo simbiótico e da diluição ou concentração desses nutrientes em plantas com produções de matéria seca diferentes.

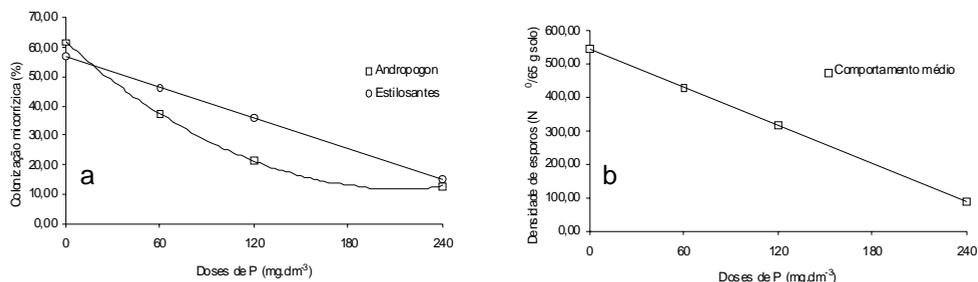
Verificou-se efeito apenas de doses de P nos dois cortes para o acúmulo de enxofre (S) na matéria seca da parte aérea (**tabela I**). Estimou-se a dose de 134,0 mg dm<sup>-3</sup> de P para um acúmulo máximo de 24,9 mg vaso<sup>-1</sup>, no primeiro corte (**figura 2f**), e 141,5 mg dm<sup>-3</sup> de P para um acúmulo máximo de 36,4 mg vaso<sup>-1</sup>, no segundo corte.

Os tratamentos microbiológicos não influenciaram a porcentagem de colonização micorrízica do sistema radicular (COL), tanto para o andropogon quanto para o estilosantes, sendo apenas influenciada pelas doses de P (**tabela I, figura 3a**).

Observou-se comportamento linear decrescente, com decréscimo médio de 0,1741 unidade percentual para cada mg dm<sup>-3</sup> de P aplicado, para as raízes do estilosantes. Nas raízes do andropogon, também verificou-se redução da %COL com o aumento das doses de P, entretanto, ajustou-se significativamente o modelo quadrático. Estimou-se a dose 212,1 mg dm<sup>-3</sup> para uma porcentagem mínima de 12% de colonização.

Observou-se comportamento semelhante para a densidade de esporos de FMA no solo. Houve efeito significativo apenas para doses de P, com comportamento linear decrescente. O decréscimo médio estimado foi de 1,8995 esporos para cada mg dm<sup>-3</sup> de P aplicado ao solo (**tabela I, figura 3b**).

Os tratamentos microbiológicos não



**Figura 3.** Estimativas da colonização micorrízica do sistema radicular (%) do capim-andropogon e do estilosantes no cultivo em consórcio (a) e densidade de esporos no solo (N° em 65 g de solo) (b) em função de doses de fósforo e de acordo com os tratamentos microbiológicos. (Estimates of mycorrhizal colonization in the root (%) of *Andropogon* grass and *Stylosanthes* in the mixture crop (a) and spore density in the soil (N° in 65 g of soil) (b) in function of phosphorus levels and microbiology treatments).

diferiram entre si com referência aos atributos micorrízicos avaliados (colonização radicular e densidade de esporos). O mesmo comportamento foi verificado em experimentos conduzidos com andropogon e estilosantes em cultivos solteiros em condição de casa de vegetação, como relatado respectivamente por Carneiro *et al.* (2007 e 2010). Supõe-se que o aumento na população nativa de FMA no tratamento controle ao longo do período experimental, não tenha proporcionado diferenças significativas entre os tratamentos controle e os com inoculação (*Glomus clarum* e inóculo nativo reinoculado). No entanto, o número de estruturas potencialmente infectivas encontradas no momento da semeadura (condição natural), não foi suficiente para inibir competitivamente os efeitos dos tratamentos de inoculação, conforme os parâmetros avaliados, principalmente no primeiro corte, período de estabelecimento das plantas.

Segundo Miranda *et al.* (2008), a espécie *Glomus clarum* proporciona maior produção de matéria seca em plantas de amendoim forrageiro consorciadas com braquiária, mesmo em presença de fungos micorrízicos arbusculares autóctones, tanto em baixo, quanto em amplo intervalo de corte. O

sucesso de uma espécie micorrízica em proporcionar o crescimento da planta hospedeira associada, está na sua capacidade de competição com a microbiota edáfica e compatibilidade a hospedeiros com alto micotrofismo, fato relatado por Sieverding (1991). Corroborando com os resultados encontrados neste estudo, Miranda *et al.* (2005) concluíram que as pastagens consorciadas beneficiam a multiplicação de esporos dos fungos micorrízicos arbusculares no solo, principalmente na fase inicial de implantação e contribui ainda para o aumento da diversidade de espécies de fungos micorrízicos arbusculares no solo, ao longo do tempo de cultivo.

## CONCLUSÕES

1. A adubação fosfatada e a inoculação micorrízica influenciam positivamente a produção de matéria seca total e quantidades acumuladas, principalmente de PB, P, K, Ca, e Mg, do consórcio entre o andropogon e estilosantes.

2. A inoculação com *Glomus clarum*, em solo sob condição microbiológica natural e em baixo suprimento de fósforo, favorece o aumento da participação do estilosantes na matéria seca total do consórcio

## INOCULAÇÃO MICORRÍZICA NO CONSÓRCIO GRAMÍNEA-LEGUMINOSA

com o capim andropogon.

### 3. A inoculação micorrízica arbuscular

inibe a participação da leguminosa no consórcio, em altos níveis de fósforo.

### BIBLIOGRAFIA

- Andrade, C.M.S., Garcia, R., Valentim, J.F. and Pereira, O.G. 2006. Grazing management strategies for massagrassforage peanut pastures. 1. Dynamics of sward condition and botanical composition. *Rev. Bras. Zootec.*, 35: 334-342.
- Bomfim, E.R.P., Pinto, J.C., Salvador, N., Morais, A.R., Andrade, I.F. e Almeida, O.C. 2003. Efeito do tratamento físico associado à adubação em pastagens degradadas de braquiária, nos teores de fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido. *Ciênc. Agrotec.*, 27: 912-920.
- Carneiro, R.F.V., Evangelista, A.R., Tonelli, M.T.L. e Reis, S.T. 2002. Inoculação com fungos micorrízicos em alfafa (*Medicago sativa* L.) em solo com doses crescentes de fósforo. *Ciênc. Agrotec.*, 26: 618-625.
- Carneiro, R.F.V., Martins, M.A., Freitas, M.S.M., Detmann, E. e Vasquez, H.M. 2007. Inoculação micorrízica arbuscular e doses de fósforo na produção do capim-andropogon, em substrato não estéril. *Rev. Bras. Ciênc. Agrár.*, 2: 212-218.
- Carneiro, R.F.V. e Martins, M.A. 2008. Micorriza arbuscular: uma abordagem com vistas a sustentabilidade dos agroecossistemas. In: Araújo, A.S.F., Leite, L.F.C., Nunes, L.A.P.L., Carneiro, R.F.V. (Eds.). *Matéria orgânica e organismos do solo*. EDUFPI. Teresina. pp. 89-115.
- Carneiro, R.F.V., Martins, M.A., Vásquez, H.M. e Detmann, E. 2010. Doses de fósforo e inoculação micorrízica no cultivo de estilosantes em solo sob condições naturais. *Arch. Zootec.*, 59: 415-426.
- Cadish, G., Schunke, R.M. and Giller, K.E. 1994. Nitrogen cycling in a pure grass pasture and a grass-legume mixture on a Red Latosol in Brazil. *Trop. Grassl.*, 28: 43-52.
- Cavalcante, U.M.T., Maia, L.C., Melo, A.M.M. e Santos, V.F. 2002. Influência da densidade de fungos micorrízicos arbusculares na produção de maracujazeiro-amarelo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37: 643-649.
- Draper, N.R. and Smith, H. 1996. Applied regression analysis. John Wiley and Sons. New York. 407 pp.
- Gerdemann, J.W. and Nicolson, T.H. 1963. Spores of mycorrhizal fungi isolated from soil by wet sieving and decanting. *Transac. Brit. Myc. Soc.* 46: 235-244.
- Giovanetti, M. and Mosse, B. 1980. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection roots. *New Phytol.*, 84: 489-500.
- Martha Júnior, G.B., Vilela, L. e Sousa, D.M.G. 2007. Adubação nitrogenada. In: Martha Júnior, G.B., Vilela, L., Sousa, D.M.G. (Eds.). *Adubação nitrogenada. Cerrado uso eficiente de corretivos e fertilizantes*. EMBRAPA-CPAC. Planaltina. pp. 117-142.
- Malavolta, E., Vitti, G.C. e Oliveira, S.A. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Potafos. Piracicaba. 210 pp.
- Miranda, J.C.C., Vilela, L. e Miranda, L.N. 2005. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. *Pesq. Agropec. Bras.*, 40: 1005-1014.
- Miranda, E.M., Saggin Júnior, O.J. e Silva, E.M.R. 2008. Seleção de fungos micorrízicos arbusculares para o amendoim forrageiro consorciado com braquiária. *Pesq. Agropec. Bras.*, 43: 1185-1191.
- Rodrigues, L.A., Martins, M.A. e Salomão, M.S.B. 2003. Uso de micorrizas e rizóbio em cultivo consorciado de eucalipto e sesbânia. II. Absorção e eficiência de utilização de fósforo e frações fosfatadas. *Rev. Bras. Ciênc. Solo*, 27: 593-599.
- Santos, I.P.A., Pinto, J.C., Siqueira, J.O., Morais, A.R. de, Curi, N. e Evangelista, A.R. 2001. Resposta a fósforo, micorriza e nitrogênio de braquiária e amendoim forrageiro consorciados. 1. Rendimento de matéria seca da parte aérea e da raiz. *Ciênc. Agrotec.*, 25: 1206-1215.
- Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H.C., Oliveira, V.A., Oliveira, J.B., Coelho, M.R., Lumberas, J.F. e Cunha, T.J.F. 2006. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2ª ed. Embrapa Solos. Rio de Janeiro. 306 pp.

## CARNEIRO, MARTINS, ARAÚJO E NUNES

- Schiavo, J.A. e Martins, M.A. 2002. Produção de mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.) inoculadas com o fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum* em substrato agro-industrial. *Rev. Bras. Frut.*, 24: 519-523.
- Schussler, A., Schwarzott, D. and Walker, C. 2001. A new fungal phylum, the glomeromycota: phylogeny and evolution. *Myc. Res.*, 105: 1413-1421.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. Eschborn. 371 pp.
- Souza, R.F., Pinto, J.C., Siqueira, J.O., Curi, N. e Morais, A.R. 2000. Influência de micorriza e fósforo sobre o rendimento de matéria seca e qualidade de *A. gayanus* e *S. guianensis* cultivados em um Latossolo. *Past. Tropic.*, 22: 34-41.
- Souza Filho, A.P.S., Pereira, A.A.G. e Bayma, J.C. 2005. Aleloquímico produzido pela gramínea forrageira *Brachiaria humidicola*. *Rev. Plan. Dan.*, 23: 25-32.
- Souza, L.S., Velini, E.D., Martins, D. e Rosolem, C.A. 2006. Efeito alelopático de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens*) sobre o crescimento inicial de sete espécies de plantas cultivadas. *Rev. Plan. Dan.*, 24: 657-668.
- Valentim, J.F., Carneiro, J.C. e Sales, M.F.L. 2001. Amendoim forrageiro cv. belmonte: leguminosa para a diversificação das pastagens e conservação do solo no Acre. Embrapa Acre. Rio Branco. Circular Técnica, 43. 18 pp.
- Trannin, W.S., Urquiaga, S., Guerra, G., Ibjibjen, J. and Cadisch, G. 2000. Interspecies competition and N transfer in a tropical grass-legume mixture. *Biol. Fert. Soil.*, 32: 441-448.
- Zimmer, A. H. e Euclides, V. P. B. 2000. Importância das pastagens para o futuro da pecuária de corte no Brasil. In: Evangelista, A. R., Bernardes, T.F., Sales, E.C.J. (Eds.). Simpósio de Forragicultura e Pastagens: Temas em evidência. NEFOR/UFLA. Lavras. pp. 1-49.