

Influência do Fósforo, Micorriza e Nitrogênio no Conteúdo de Minerais de *Brachiaria brizantha* e *Arachis pintoi* Consorciados¹

Ívina Paula Almeida dos Santos², José Cardoso Pinto³, José Oswaldo Siqueira⁴, Augusto Ramalho de Moraes⁵, Cristiane Leal dos Santos⁶

RESUMO - O experimento foi conduzido em casa de vegetação com o objetivo de avaliar a influência do fósforo (P), fungos micorrízicos arbusculares (FMA's) e nitrogênio (N) no acúmulo de minerais na MS da parte aérea de braquiária MG-4 (*Brachiaria brizantha* cv. MG-4) e amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* cv. Amarillo) consorciados, em solo de baixa fertilidade. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, num esquema fatorial 5x2x2, sendo cinco doses de P (25, 50, 75, 100 e 200 mg de P/kg de solo), dois tratamentos de inoculação do solo (inoculado e não com o FMA *Glomus etunicatum*) e dois tratamentos de N (com e sem N em cobertura), com quatro repetições. Foi realizado o corte da parte aérea das plantas aos 60 dias após a germinação para a determinação das quantidades acumuladas de N, P, K, Ca, Mg e S na MS da parte aérea. As adubações fosfatada e, principalmente, a nitrogenada provocaram aumento no conteúdo de N, P, K, Ca, Mg e S na braquiária MG-4, não se verificando tal aumento com a micorrização. No amendoim forrageiro, observou-se redução destes minerais com a aplicação de N, ao passo que a micorrização resultou em aumento dos mesmos. Por outro lado, a adubação fosfatada provocou pequeno aumento no acúmulo de minerais na MS da parte aérea do amendoim forrageiro.

Palavras-chave: acúmulo de N, P, K, Ca, Mg e S; *Arachis pintoi* cv. Amarillo; *Brachiaria brizantha* cv. MG - 4

Effect of Phosphorus, Mycorrhizal and Nitrogen on Mineral Content of *Brachiaria brizantha* - *Arachis pintoi* Mixture

ABSTRACT - This experiment was carried out in a greenhouse condition to study the effect of phosphorus, arbuscular mycorrhizal fungi and nitrogen on mineral accumulation in braquiaria MG-4 (*Brachiaria brizantha* cv. MG-4) above ground forage DM and peanut (*Arachis pintoi* cv. Amarillo) mixture, in soil of low fertility. The experimental design was a completely randomized in a 5x2x2 factorial arrangement, with five P rates (25, 50, 75, 100 and 200 mg/kg of soil), two inoculations (inoculated and no inoculated) and two levels of N (with and without N), with four replicates. The harvest of the above ground parts of plants was at 60 days after seed germination to determine the accumulated amounts of N, P, K, Ca, Mg and S. The phosphorus and mainly the nitrogen fertilization increased the accumulation of N, P, K, Ca, Mg and S in plant DM of braquiaria MG-4, however, this was not observed for mycorrhization. For forage peanut, a reduction of these minerals was observed with application of N, whereas the mycorrhization resulted in an increase of them. On the other hand, the phosphorus caused little increase in the accumulation of minerals in plant DM of peanut forage.

Key Words: accumulation of N, P, K, Ca, Mg and S; *Arachis pintoi* cv. Amarillo; *Brachiaria brizantha* cv. MG - 4

Introdução

No Brasil, cerca de 70% dos solos cultivados apresentam alguma limitação séria de fertilidade. A baixa disponibilidade de fósforo (P), nitrogênio (N) e a alta saturação de alumínio (Al) são os fatores químicos que limitam com mais intensidade a produção forrageira nos solos ácidos tropicais, dificultando, assim, uma exploração racional e econômica da pecuária, como se observa na maioria dos solos da Zona Fisiográfica Campos das Vertentes, que se situa no sudoeste de

Minas Gerais. Os solos predominantes nesta região são Latossolos e Cambissolos, essencialmente ácidos e pobres em nutrientes, prejudicando o desenvolvimento agrícola da região, notadamente as pastagens.

A deficiência de P no solo, além de comprometer o valor nutritivo da forragem, tem primeiramente efeito sobre o estabelecimento e desenvolvimento das plantas forrageiras, comprometendo a capacidade de suporte das pastagens e a oportunidade de introdução de leguminosas para a formação de pastagens consorciadas (Moreira et al., 1979).

¹ Parte da Dissertação de Mestrado em Zootecnia do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Lavras, UFLA. Projeto Financiado pela FAPEMIG.

² Eng. Agr., MSc em Zootecnia. Departamento de Zootecnia da UFLA, Caixa Postal 37, 37.200-000, Lavras – MG. E.mail: ivina@ufla.br

³ Professor do Departamento de Zootecnia da UFLA. E.mail: josecard@ufla.br

⁴ Professor do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. E.mail: siqueira@ufla.br

⁵ Professor do Departamento de Ciências Exatas da UFLA. E.mail: armoraes@ufla.br

⁶ Professor do Departamento de Tecnologia Rural e Animal da UESB, Itapetinga, BA. 45700-000. E.mail: crisleal@uesb.br

A inclusão de leguminosas nas pastagens tropicais é de grande importância para a manutenção do nível adequado de proteína bruta (PB) na dieta animal, seja pelo efeito direto da ingestão de leguminosas ou pelo efeito indireto do acréscimo no conteúdo de nitrogênio (N) da pastagem, pela capacidade da leguminosa, em simbiose com bactérias específicas, fixar o N atmosférico, contribuindo significativamente para o aumento da produção de forragem.

Como o sucesso no estabelecimento, nodulação e fixação de N₂ das leguminosas forrageiras nas pastagens depende de boa nutrição fosfatada (Gibson, 1976) e o custo unitário deste fertilizante é relativamente alto, torna-se fundamental o desenvolvimento de tecnologias alternativas que melhorem o aproveitamento do P nestes solos. Neste sentido, há várias décadas têm sido reconhecidos os efeitos das micorrizas arbusculares na nutrição vegetal. Os estímulos ao crescimento das plantas atribuídos aos fungos micorrízicos arbusculares (FMA's) estão fortemente correlacionados com a maior acumulação de nutrientes de baixa mobilidade, em particular o P.

Saif (1987), após uma série de estudos com o uso da micorrização, concluiu que a aquisição de N, P, K, Ca e Mg foi consideravelmente superior nos caules de plantas forrageiras tropicais micorrizadas do que nas não micorrizadas. No entanto, segundo Marschner & Dell (1994) e Siqueira & Saggin Jr. (1995), plantas micorrizadas geralmente acumulam menores teores de N, K, Ca, Mg e Na e maiores teores de SO₄⁻², PO₃⁻³, NO₃⁻ e Cl⁻. Crush (1974) ratificou o efeito da micorriza no estímulo à nodulação, demonstrando que a mesma estimulou o crescimento e a nodulação de *Centrosema pubescens*, *Stylosanthes guianensis*, *Trifolium repens* e *Lotus pedunculatus* e as plantas não micorrizadas apresentavam taxas menores de fixação do N₂, medida pela técnica da redução do acetileno.

A redução na aplicação de fertilizantes nitrogenados e fosfatados, em função de maior eficiência na absorção e utilização de N e P pelas plantas consorciadas, através de FMA's, concorre para maior viabilidade e sustentabilidade de sistemas consorciados.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência do fungo micorrízico arbuscular, P e N na composição química da forragem do consórcio entre o braquiária MG-4 [*Brachiaria brizantha* (Hochst. ex A. Rich.) Stapf cv. MG - 4] e amendoim forrageiro ou perene (*Arachis pintoi* Krap. et Greg. cv. Amarillo), em solo de baixa fertilidade.

Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação, em Lavras, região sul do Estado de Minas Gerais, localizada a 21°14' de latitude sul e 40°00" de longitude oeste de Greenwich, a uma altitude de 918,84 metros. Foi utilizado um solo classificado como Latossolo Vermelho-Escuro (LE), epi distrófico, textura muito argilosa, fase cerrado, procedente do distrito de Jaguará, município de São João Del Rei - MG, coletado a uma profundidade de 0 - 20 cm, com as características químicas e físicas apresentadas na Tabela 1. Em seguida, o solo foi submetido à calagem calculada pelo método de saturação por bases para se elevar o valor V para 60%, utilizando-se o calcário dolomítico calcinado (PRNT=100%). Decorridos 15 dias de incubação, o solo foi seco e acondicionado, por 72 horas, em uma caixa de cimento, vedada com lona plástica, na qual se efetuou a desinfestação, utilizando-se o brometo de

Tabela 1 - Caracterização química e física do solo utilizado
Table 1 - Physical and chemical characterization of the soil

Atributos <i>Attributes</i>	Valores <i>Values</i>	Interpretação <i>Interpretation</i>
pH em água <i>pH in water</i>	5,1	Acidez média <i>Medium acidity</i>
P (mg/dm ³)	1,0	Baixo <i>Low</i>
K ⁺ (mg/dm ³)	28,0	Baixo
Ca ²⁺ (cmol _c /dm ³)	0,4	Baixo
Mg ²⁺ (cmol _c /dm ³)	0,2	Baixo
Al ³⁺ (cmol _c /dm ³)	0,0	Baixo
H ⁺ + Al ³⁺ (cmol _c /dm ³)	4,0	Médio <i>Medium</i>
S (cmol _c /dm ³)	0,7	Baixo
t (cmol _c /dm ³)	0,7	Baixo
T (cmol _c /dm ³)	4,7	Médio
m (%)	0,0	Baixo
V (%)	14	Muito baixo <i>Lower</i>
C (%)	1,4	Médio
Matéria orgânica (dag/kg) <i>Organic matter</i>	2,5	Média
Areia (%) <i>Sand</i>	14	Baixo
Limo (%) <i>Slime</i>	24	Baixo
Argila (%) <i>Clay</i>	62	Muito alto <i>Higher</i>

Análises efetuadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do DCS - UFLA.

Analysis performed at Soil Analysis Laboratory of DCS - UFLA.

metila na dosagem de 1,0 dm³/m³ de solo, com o objetivo de eliminar todos os microrganismos, inclusive os fungos micorrízicos nativos.

O solo foi acondicionado em vasos sem furos com capacidade para 4,0 kg, cuja adubação de plantio constou da mistura dos fertilizantes superfosfato simples; cloreto de potássio e FTE BR 12, como fontes de P (25, 50, 75, 100 e 200 mg de P/kg de solo), K (172 mg de K/kg de solo) e micronutrientes (30,0 mg/kg de solo), respectivamente. O N foi aplicado 15 dias depois do desbaste e após cada corte nos vasos pré-estabelecidos, na forma de nitrato de amônio, na dose de 50 mg de N/kg de solo.

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições, sendo os tratamentos dispostos num esquema fatorial 5x2x2, constituídos por cinco doses de P (25, 50, 75, 100 e 200 mg de P/kg de solo), dois tratamentos de inoculação (inoculado e não inoculado com o fungo micorrízico arbuscular *Glomus etunicatum* Becker & Gerd) e dois tratamentos de N (aplicação ou não de N em cobertura), totalizando 20 tratamentos.

A semeadura foi efetuada utilizando oito sementes de braquiária MG-4 (*Brachiaria brizantha* cv. MG-4) e oito de amendoim forrageiro (*Arachis pintoi* cv. Amarillo) por vaso. O desbaste foi realizado 15 dias após a emergência, deixando-se duas plantas de cada espécie por vaso. A inoculação com o fungo micorrízico arbuscular (espécie micorrízica *Glomus etunicatum* Becker e Gerd) foi feita aplicando-se, no solo, a 5,0 cm de profundidade e abaixo das sementes, 7,0 mL do inóculo contendo raízes infectadas e pedaços de hifas com aproximadamente 140 esporos em cada vaso. Nos vasos que não receberam o inóculo, foram adicionados 10,0 mL de um filtrado preparado com 75,0 mL do inóculo misturado em 2,5 l de água. Esta solução foi filtrada em peneiras apropriadas com a finalidade de eliminar o fungo utilizado para não haver contaminação e, assim, equilibrar a população microbiana deste solo para todos os tratamentos. As sementes de amendoim forrageiro foram inoculadas com *Bradyrhizobium* spp, estirpe 1405, mantidas em turfa. A umidade do solo foi mantida a 60% do volume total de poros (VTP), com o uso de água destilada, através de pesagens dos vasos. Foi realizado um corte a 5,0 cm do solo aos 60 dias após a germinação. O material foi seco em estufa com circulação de ar a 65-70°C e, em seguida, moído em moinho tipo Willey. Os efeitos dos tratamentos sobre as espécies forrageiras foram avaliados pelas quantidades acu-

muladas de N, P, K, Ca, Mg e S na MS da parte aérea de cada espécie separadamente.

Os teores de N foram determinados pelo método de Kjeldahl, segundo Van Soest (AOAC, 1990), no Laboratório de Pesquisa Animal do Departamento de Zootecnia da UFLA. A determinação dos minerais (P, K, Ca, Mg e S) foi feita pelo método da digestão nitroperclórica realizada no Laboratório de Análise Foliar do Departamento de Química da UFLA. Os teores de Ca e Mg nos extratos foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; o K por fotometria de chama (Malavolta et al., 1989); o P por colorimetria; e o S, por turbidimetria (Blanchar et al., 1965).

Todos os parâmetros foram analisados utilizando o seguinte modelo linear:

$$Y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_k + (\alpha\beta)_{ij} + (\alpha\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\alpha\beta\gamma)_{ijk} + E_{(ijk)l}$$

em que: Y_{ijkl} , valores observados de N, P, K, Ca, Mg, S, na dose i de P, da inoculação j , do nitrogênio k , na repetição l ($l = 1, 2, 3, 4$); μ , média geral; α_i , efeito da dose i de P ($i = 1, 2, 3, 4, 5$); β_j , efeito do nível j da inoculação ($j = 1, 2$); γ_k , efeito do nível k de N ($k = 1, 2$); $(\alpha\beta)_{ij}$, efeito da interação dos fatores dose de P e inoculação; $(\alpha\gamma)_{ik}$, efeito da interação dos fatores dose de P e N; $(\beta\gamma)_{jk}$, efeito da interação dos fatores inoculação e N; $(\alpha\beta\gamma)_{ijk}$, efeito da interação dos fatores dose de P, inoculação e N; $E_{(ijk)l}$, erro experimental associado à observação Y_{ijkl} .

Os dados foram analisados usando o programa Sanest (Zonta & Machado, 1989). O teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade, foi empregado para comparação entre as médias dos tratamentos de inoculação e de aplicação de N em cobertura. Ajustaram-se equações de regressão para descrição dos parâmetros avaliados em função das doses de P, utilizando-se o programa Table Curve. Foram determinadas, pela análise de regressão, as equações das quantidades acumuladas de N, P, K, Ca, Mg e S.

Resultados e Discussão

As quantidades acumuladas de P na MS da parte aérea da braquiária MG-4 e de N, P, Ca e S na MS da parte aérea do amendoim forrageiro foram influenciadas significativamente pela interação dos fatores doses de P, inoculação (I) e aplicação de N em cobertura. No entanto, as quantidades acumuladas de N, K, Ca, Mg e S na MS da parte aérea da braquiária MG-4 foram afetadas pelas interações P x I e P x N, sendo que o acúmulo de K também foi

influenciado pela interação IxN. Para o amendoim forrageiro, o acúmulo de K e Mg na MS da parte aérea foi afetado pela interação dos fatores doses de P e aplicação de nitrogênio em cobertura (Tabela 2).

Nitrogênio

A inoculação com o FMA *Glomus etunicatum*, associado à dose mais baixa de P (25 mg de P/kg de solo), aumentou significativamente o conteúdo de N na MS da parte aérea do braquiária MG-4 (Figura 1 a). O mesmo ocorreu com o amendoim forrageiro (Figura 2). Estes comportamentos acompanharam os do rendimento de MS, tanto para a gramínea como para a leguminosa (Figura 3). O acúmulo de N na MS da parte aérea do braquiária MG-4 também foi influenciado pela adição de N em cobertura, porém esse efeito variou em função da adição de P no solo. Nas doses mais baixas de P, o aumento de N na MS da parte aérea foi mais rápido, ao passo que, nas mais elevadas, foi observado incremento lento, próximo da estabilização (Figura 1 b).

Vários trabalhos têm demonstrado que as endomicorrizas são eficientes em mediar a transferência de N entre plantas (Barea et al., 1989), principalmente em sistemas de pastagens em que, segundo Barea et al. (1989), as plantas crescem em uma associação muito densa e a micorrização pode ser importante no ciclo de N entre plantas, especialmente entre gramíneas e leguminosas. No entanto, a aplicação de N pode inibir a nodulação da leguminosa como aconteceu no presente trabalho com o amendoim forrageiro.

Ames et al. (1984), ao avaliarem a dinâmica de absorção do N a partir de duas fontes diferentes pelo FMA *Glomus mossae*, e Ibijibijen et al. (1996), em *Sorghum vulgare* e *Brachiaria arrecta*, verificaram que os FMA's têm acesso a outras fontes de N além da mineral, apesar de o crescimento do *S. vulgare* não ter sido modificado pela colonização micorrízica.

Fósforo

O acúmulo de P, na braquiária MG-4, aumentou em função das doses de P, no entanto, para a leguminosa, apenas nas plantas não inoculadas e sem N houve aumento na acumulação de P na parte aérea até a dose de 100 mg de P/kg de solo (Figura 4).

Hoffmann (1992), ao estudar aspectos da nutrição mineral de plantas adubadas com N, P e K, verificou que a braquiária e o colônio apresentaram relações lineares entre as doses de P aplicadas e seu acúmulo na MS parte aérea. Vários trabalhos com gramíneas forrageiras têm mostrado efeitos positivos, normal-

Tabela 2 -Resumo da análise de variância (quadrados médios) para as quantidades acumuladas de N, P, K, Ca, Mg e S de braquiária MG-4 e do amendoim forrageiro, sob a influência de fósforo (P), inoculação (I) e nitrogênio (N)

Fonte de variação	Braquiária MG-4 <i>Brachiaria MG-4</i>						Amendoim forrageiro <i>Forage peanut</i>					
	N	P	K	Ca	Mg	S	N	P	K	Ca	Mg	S
P	13906,8**	1783,9**	130206,9**	3411,9**	4498,5**	109,6**	3818,4**	10,24**	2089,9**	1139,3**	26,9*	9,6 ^{ns}
I	2096,6 ^{ns}	471,9**	87793,7**	493,4**	612,3**	102,3**	440,9 ^{ns}	3,3 ^{ns}	10623,7**	854,2*	51,1*	32,2**
N	172214,6**	102,3 ^{ns}	178269,3**	1263,0**	9610,6**	854,9**	15454,8**	51,5**	4170,6**	1522,1*	141,3**	5,3 ^{ns}
P x I	6829,1**	1086,2**	14711,7**	144,4**	228,7**	14,09*	1364,3**	5,2 ^{ns}	591,3 ^{ns}	529,6*	21,7 ^{ns}	3,6 ^{ns}
P x N	4314,6*	1259,7*	14635,7**	127,2*	641,0*	33,7**	2704,9**	16,1**	1497,9**	871,9**	27,8*	20,4**
I x N	502,6 ^{ns}	927,5**	12963,7*	94,8 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,4 ^{ns}	659,7 ^{ns}	2,6 ^{ns}	493,8 ^{ns}	6,8 ^{ns}	12,24 ^{ns}	0,005 ^{ns}
P x I x N	1924,8 ^{ns}	1067,2**	4548,9 ^{ns}	60,1 ^{ns}	49,8 ^{ns}	4,1 ^{ns}	1364,5**	7,54*	297,5 ^{ns}	609,9*	19,2 ^{ns}	10,3*
Resíduo	1170,6	62,4	2451,0	38,0	42,7	5,0	287,1	2,6	276,6	218,9	9,13	3,9
Error												
CV (%)	17,8	41,3	13,7	17,9	14,3	18,8	30,2	37,8	32,3	26,9	31,4	39,2
Média geral	192,1	19,12	361,3	34,4	45,7	11,9	56,2	4,3	51,4	55,1	9,6	5,0
Overall mean												

* (P<0,05); ** (P<0,01); ns (não-significativo). * (P<0,05); ** (P<0,01); ns (not significant).

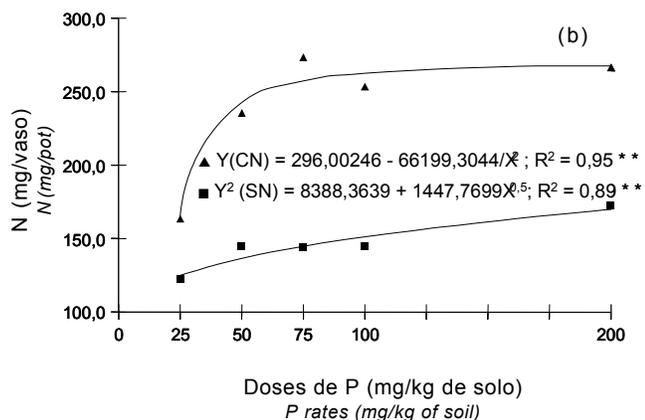
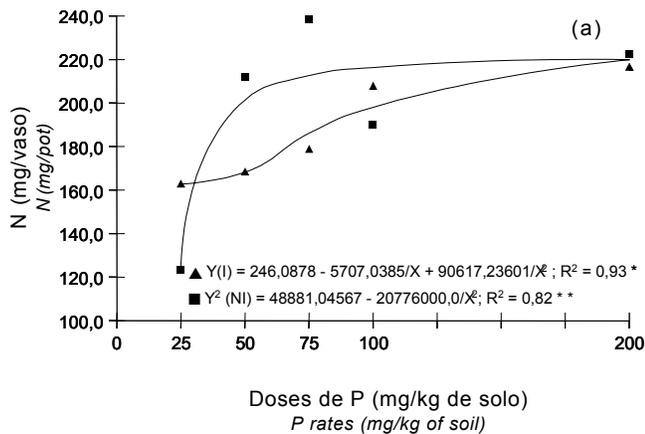


Figura 1 - Quantidade acumulada de N na MS da parte aérea do braquiária MG-4, em função das doses de P, para inoculada (I), não inoculada (NI) (a); com aplicação (CN) ou não (SN) de N em cobertura (b).

Figure 1 - Accumulated amount of N in the DM of the above ground parts of the braquiária MG-4, as a function of the P rates, to inoculated (I), not inoculated (NI) (a); with application (CN) or no (SN) of N as a top dressing fertilization (b).

mente lineares, do acúmulo de P na MS em resposta às suas doses aplicadas (Costa et al., 1983; Gomide et al., 1986; Fonseca, 1987 e Guss et al., 1990).

Para a gramínea, a micorrização promoveu maiores acúmulos de P na MS da parte aérea, fato que está de acordo com Abbott & Robson (1982), pois, segundo os autores, as plantas micorrizadas são mais eficientes em absorver o fósforo da solução do solo. O amendoim forrageiro, por sua vez, não apresentou comportamento claramente definido, principalmente para as plantas micorrizadas e sem N e adubadas apenas com N.

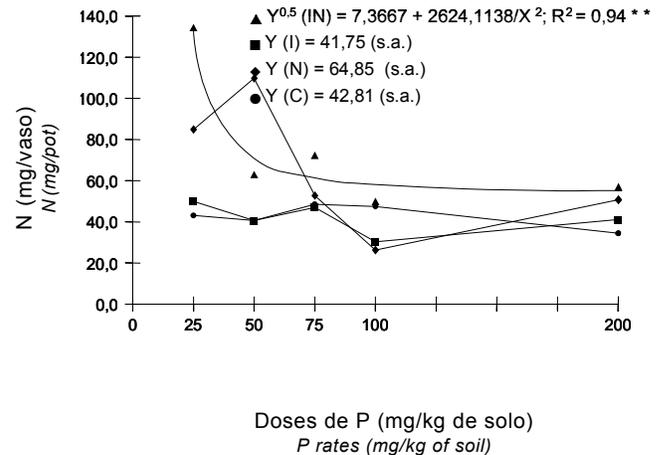


Figura 2 - Quantidade acumulada de N na MS da parte aérea do amendoim forrageiro, em função das doses de P, para inoculada, com N (IN); inoculada, sem N (I); não inoculada, com N (N) e não inoculada, sem N (C); s.a.=sem ajuste.

Figure 2 - Accumulated amount of N in the DM of the above ground parts of the forage peanut, as a function of the P rates, to inoculated, with N (IN); inoculated, without N (I); not inoculated, with N (N) and not inoculated, without N (c); w. a. = without adjustment.

O incremento na absorção de P pelas raízes associadas ao fungo é atribuído ao aumento da superfície de absorção e, conseqüentemente, do volume de solo explorado (Hayman & Mosse, 1972). Contudo, Cress et al. (1979) afirmam que o sistema com micorriza não depende exclusivamente de uma exploração física, mas principalmente da presença e da expansão de sítios de absorção de maior afinidade (baixo Km) por P nas raízes.

As plantas de braquiária MG-4 que não foram micorrizadas e não receberam N em cobertura apresentaram um acúmulo crescente de P na MS da parte aérea apenas em função das doses de P, confirmando a importância da adubação fosfatada no crescimento das plantas.

Resultados semelhantes foram encontrados por Correa (1991) ao estudar níveis críticos de P para o estabelecimento de *B. decumbens*, *B. brizantha* cv. Marandu e *P. maximum* em Latossolo Vermelho Amarelo, álico. O autor verificou que as quantidades acumuladas de P na MS da parte aérea das três gramíneas aumentaram significativamente com o aumento das doses de P aplicadas, sendo que o acúmulo foi mais acentuado em *B. brizantha* e *P. maximum* e menor, em *B. decumbens*.

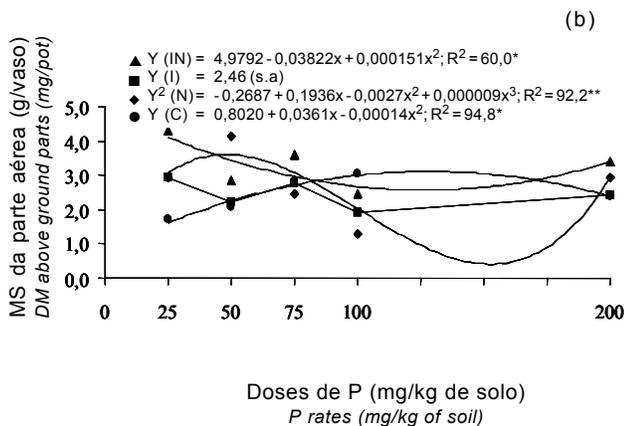
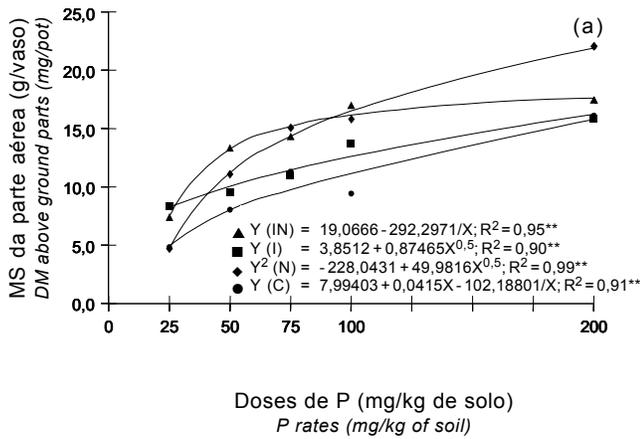


Figura 3 - Produção de MS da parte aérea da braquiária MG-4 (a) e do amendoim forrageiro (b) em função das doses de P, para inoculado, com N (IN); inoculado, sem N (I); não inoculado, com N (N) e não inoculado, sem N (C); sem ajuste (s.a.).

Figure 3 - Production of DM of the above ground parts of the braquiária MG-4 (a) and of the forage peanut (b), as a function of the P rates, to inoculated, with N (IN); inoculated, without N (I); not inoculated, with N (N) and not inoculated, without N (C); w. a. = without adjustment.

Potássio

Para as plantas de braquiária MG-4, tanto as inoculadas como as adubadas com N aumentaram o acúmulo de K com a elevação das doses de P, acompanhando o comportamento da produção de MS (Figuras 3 e 5).

As plantas de braquiária MG-4 não inoculadas aumentaram o acúmulo de K nas doses mais elevadas

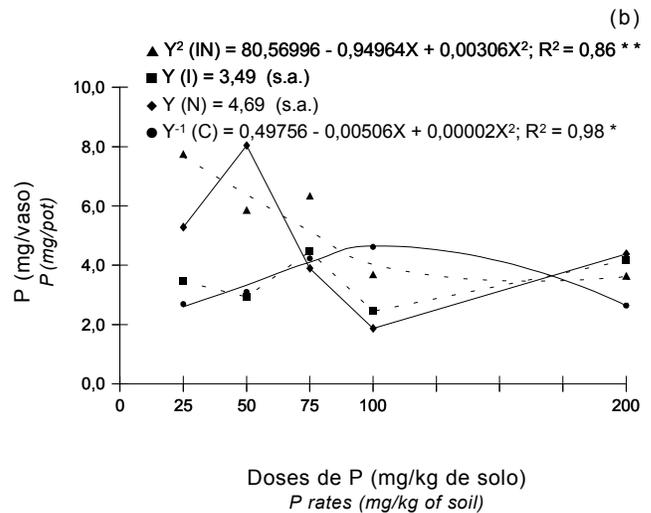
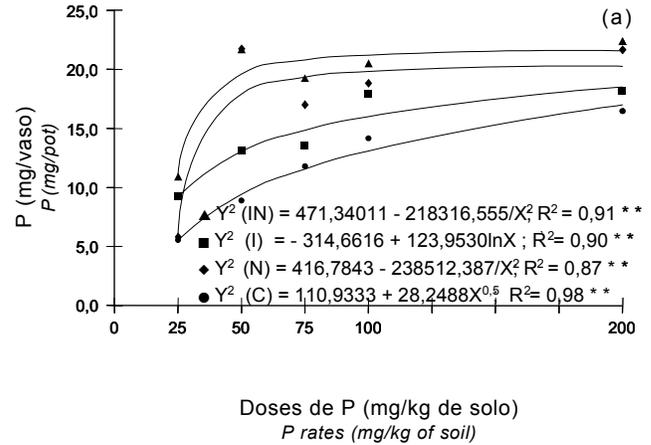


Figura 4 - Quantidade acumulada de P na MS da parte aérea da braquiária MG-4 (a) e do amendoim forrageiro (b), em função das doses de P, para inoculado, com N (IN); inoculado, sem N (I); não inoculado, com N (N), e não inoculado, sem N (C); s.a. = sem ajuste.

Figure 4 - Accumulated amount of P in the DM of the above ground parts of the braquiária MG-4 (a) and forage peanut (b), as a function of the P rates, to inoculated, with N (IN); inoculated, without N (I); not inoculated, with N (N) and not inoculated, without N (C); w. a. = without adjustment.

de P, compensando o efeito das micorrizas por doses mais altas de P, pois, segundo Lu & Koide (1994), a infecção micorrízica e as doses mais elevadas de P têm influências qualitativamente semelhantes.

Os estudos da inoculação com fungos micorrízicos em relação aos conteúdos de K na parte aérea da planta têm mostrado resultados inconsistentes e de difícil interpretação (Sieverding & Toro, 1988). A

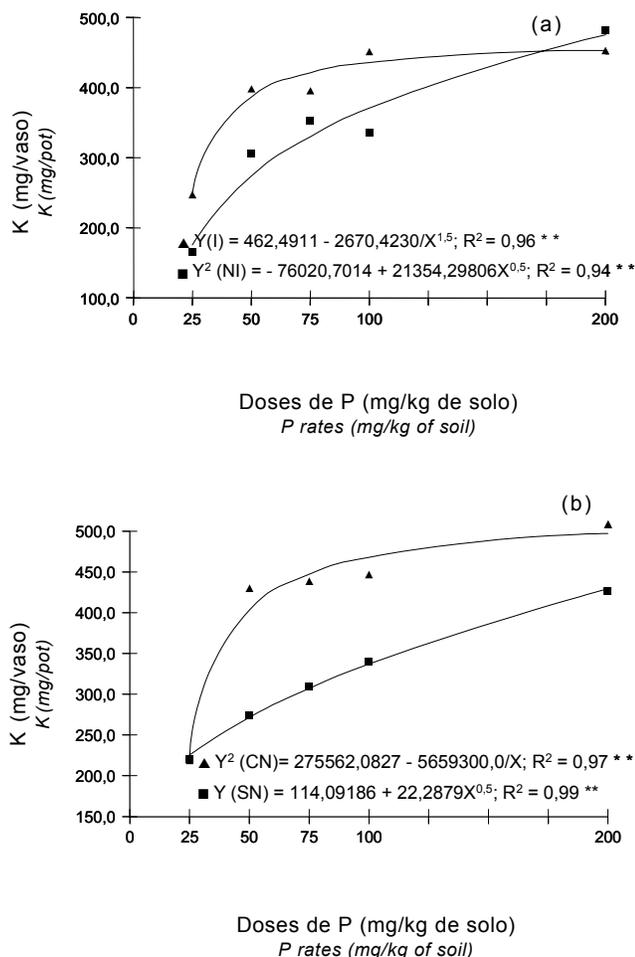


Figura 5 - Quantidade acumulada de K na MS parte aérea do braquiária MG-4, em função das doses de P, para inoculado (I) e não inoculado (NI) (a); com aplicação (CN) ou não (SN) de N em cobertura (b).

Figure 5 - Accumulated amount of K in the DM of the above ground parts of the braquiaria MG-4, as a function of the P rates, to inoculated (I), not inoculated (NI) (a); with application (CN) or no (SN) of N as a top dressing fertilization (b).

maior parte destes estudos foi efetuada em solos deficientes em P para demonstrar o papel dos fungos micorrízicos na absorção de P.

Vários pesquisadores encontraram pouco efeito do P adicionado sobre a quantidade acumulada de K na planta (Filizolla & Baumgartner, 1984; Nascimento et al., 1990), enquanto outros têm relatado redução no conteúdo deste elemento (Andrew & Robins, 1971; CIAT, 1982), sendo esta redução atribuída, pelos penúltimos autores, aos efeitos da diluição. Hoffmann (1992) verificou que a produção de MS no primeiro

corte foi o determinante da tendência seguida pelo acúmulo de K tanto no braquiária MG-4 como no colômbio.

As plantas que não receberam N acumularam menos K justamente por produzirem menos que as demais. Mesmo assim, observou-se aumento apenas como consequência das doses de P aplicadas. Desta forma, todos os fatores estudados provocaram um aumento significativo no acúmulo de K na MS da parte aérea do braquiária MG-4.

Variações no teor de K em função da aplicação de N são um fato bem conhecido em gramíneas forrageiras, podendo diminuir (Martim, 1997), mas não alterar significativamente (Menegatti, 1999) ou aumentar (Gomide & Costa, 1984; Botrel et al., 1990; Hoffmann, 1992).

Conforme se pode observar na Tabela 3, tanto na presença como na ausência de N, as plantas micorrizadas acumularam mais K que as não micorrizadas. Este aumento representou acréscimo de 10,5 e 34,2% no conteúdo de K, na presença e ausência de N, respectivamente.

Para o amendoim forrageiro o conteúdo de K reduziu com o aumento das doses de P. No entanto, as plantas que receberam o N acumularam mais K quando submetidas a doses menores de P, acompanhando, assim, a produção de MS (Figura 6).

Mesmo com esta redução no acúmulo de K na MS da leguminosa, as plantas micorrizadas acumularam 1,6 vezes mais K que as não micorrizadas, evidenciando

Tabela 3 - Quantidade acumulada de K na MSPA do braquiária MG-4, em função da inoculação com *Glomus etunicatum* e da aplicação de N em cobertura

Table 3 - Accumulated amount of K in the DM of the above ground parts of the braquiaria MG-4, as a function of the inoculation with *Glomus etunicatum* and of the application of N as a top dressing fertilization

K (mg/vaso) K (mg/pot)	Inoculação Inoculation	
	Com N With N	Sem N Without N
Inoculado Inoculated	428,93 ^{aA}	359,98 ^{aB}
Não Inoculado Not Inoculated	388,13 ^{bA}	268,26 ^{bB}

Médias seguidas por letras minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Means followed by different small letters in the columns and capital letters in the row differ ($P < 0,05$) by Tukey test.

os benefícios da associação micorrízica (Tabela 4). Para a gramínea, a inoculação per se provocou um aumento no acúmulo de K 1,2 vezes (Tabela 3). Assim, a leguminosa mostrou uma eficiência de 0,4 vezes a mais no acúmulo de K, nestas circunstâncias.

Cálcio

O conteúdo de Ca na MS da parte aérea do braquiária MG-4 aumentou, principalmente quando foi inoculado ou adubado com N, em função das doses de P. No entanto, a aplicação de N promoveu maiores acúmulos de Ca (Figura 7).

De acordo com Mascarenhas (1977) e Malavolta & Paulino (1991), a absorção de Ca está mais associada à capacidade de troca de cátions (CTC) das raízes e o N pode influenciar esta CTC. Em plantas com baixa CTC inicial, o N pode aumentar esta CTC, permitindo que as plantas absorvam mais Ca. Naquelas em que a CTC inicial é elevada, o aumento de Ca é desprezível (Mascarenhas, 1977). Assim, conclui-se que o efeito da aplicação de N sobre a absorção de Ca é muito dependente da espécie envolvida. As raízes das leguminosas apresentam maior CTC que as das gramíneas (Evans, 1977), apresentando, portanto, maior afinidade por cátions divalentes, enquanto as gramíneas a têm por monovalentes.

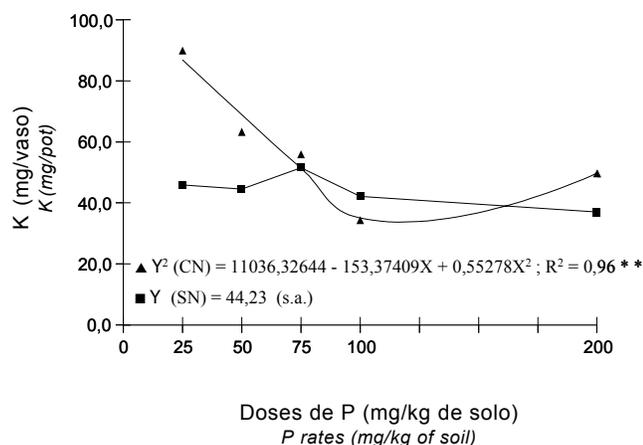


Figura 6 - Quantidade acumulada de K na MS da parte aérea do amendoim forrageiro, em função das doses de P e da aplicação (CN) ou não (SN) de N em cobertura.

Figure 6 - Accumulated amount of K in the DM of the above ground parts of the forage peanut, as a function of the P rates and of the application (CN) or no (SN) of N as a top dressing fertilization.

Tabela 4 - Quantidade acumulada de K na MS da parte aérea do amendoim forrageiro, em função da inoculação com *Glomus etunicatum*

Table 4 - Accumulated amount of K in the DM of the above ground parts of the forage peanut, as a function of the inoculation with *Glomus etunicatum*

Inoculação Inoculation	K (mg/vaso) K (mg/pot)
Inoculado Inoculated	62,92 ^a
Não inoculado Not inoculated	39,92 ^b

Médias seguidas por letras diferentes diferem pelo teste F ($P < 0,05$).

Means followed by different letters differ by F test ($P < .05$).

A quantidade acumulada de Ca na MS do amendoim forrageiro foi influenciada pela interação dos fatores estudados (P, N e micorrização) (Tabela 2). Como se pode verificar na Figura 8, tanto as plantas inoculadas e adubadas com N em cobertura (IN) como as não inoculadas e não adubadas com N (C) tiveram uma respostas quadrática, sendo que as plantas controle acumularam mais Ca (64,3 mg/vaso) na dose de 142,5 mg de P/kg de solo, enquanto as inoculadas e adubadas com N (IN) tiveram maior acúmulo (77,6 mg/vaso) na dose de 200 mg de P/kg de solo.

Para as plantas inoculadas e sem N (IN) não foi possível ajustar uma equação, pois estas não apresentaram tendência definida para o acúmulo de Ca na MS da parte aérea do amendoim forrageiro. Já as plantas não inoculadas e adubadas com N (N) tiveram um comportamento cúbico causado por um provável desbalanço entre os nutrientes N e P, principalmente nas doses mais elevadas de P.

Comparados com o P, a assimilação e o transporte de Ca pelas hifas são relativamente baixos, o que pode explicar a sua redução na MS da parte aérea da planta, além do efeito da diluição.

Magnésio

A adubação fosfatada proporcionou um aumento no acúmulo de Mg na MS da parte aérea do braquiária MG-4, o mesmo não acontecendo com o amendoim forrageiro, pelo menos nas doses mais baixas de P, como consequência do rendimento da MS da parte aérea (Figuras 9 e 10).

O acúmulo de Mg do braquiária MG-4 apresentou tendência similar ao do K, tanto em função da aplicação de N quanto da inoculação, sendo superior ao

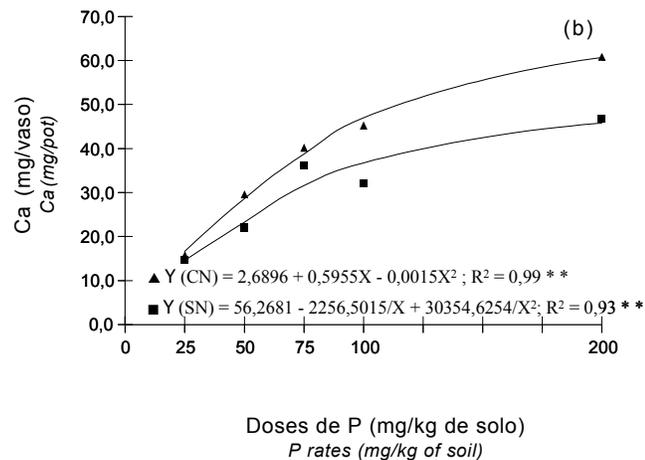
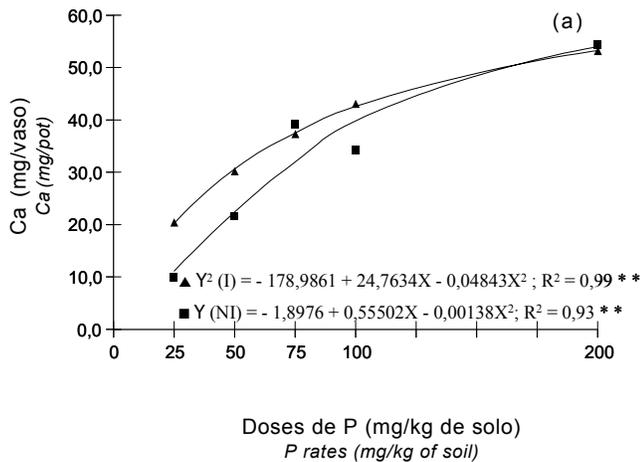


Figura 7 - Quantidade acumulada de Ca na MS da parte aérea do braquiária MG-4, em função das doses de P, para inoculado (I) e não-inoculado (NI) (a); para aplicação (CN) ou não (SN) de N em cobertura (b).

Figure 7 - Accumulated amount of Ca in the DM of the above ground parts of the braquiaria MG-4, as a function of the P rates, to inoculated (I), not inoculated (NI) (a); to application (CN) or not (SN) of N as a top dressing fertilization (b).

acúmulo de Ca. A inoculação e a aplicação de N em cobertura foram os tratamentos que favoreceram os maiores acúmulos quando associados com as doses crescentes de P (Figuras 9).

No amendoim forrageiro, sob as diferentes doses de P, a aplicação de N promoveu redução acentuada no conteúdo de Mg, com posterior aumento entre as

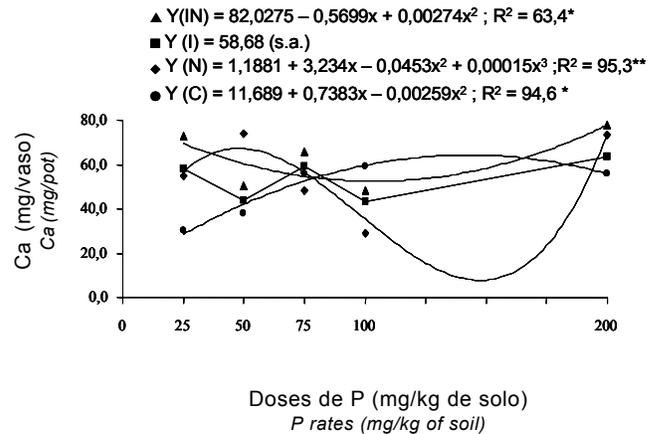


Figura 8 - Quantidade acumulada de Ca na MS da parte aérea do amendoim forrageiro, em função das doses de P, para inoculado, com N (IN); inoculado, sem N (I); não inoculado, com N (N) e não inoculado, sem N (C); sem ajuste (s.a.).

Figure 8 - Accumulated amount of Ca in the DM of the above ground parts of the forage peanut, as a function of the P rates, to inoculated, with N (IN); inoculated, without N (I); not inoculated, with N (N) and not inoculated, without N (c); w.a. = without adjustment.

doses 100 e 200 mg de P/kg de solo (Figura 10). A inoculação, por sua vez, gerou aumento de 18,1% de Mg na MSPA do amendoim forrageiro (Tabela 5).

Enxofre

As doses de P proporcionaram um aumento no conteúdo de S na MS do braquiária MG-4, acompanhando a sua produção de MS. No entanto, esta resposta foi mais expressiva quando o P foi associado à aplicação de N ou à inoculação com o FMA *Glomus etunicatum*. As respostas destes fatores foram semelhantes (Figura 11). De outra forma, o acúmulo de S encontrado foi bem menor que dos outros minerais avaliados.

Considerando que todas as proteínas vegetais têm S, visto que delas fazem parte aminoácidos com S (Malavolta et al., 1989) e que um dos componentes primordiais da estrutura do aminoácido é o N, pode-se concluir que a adubação com N e P aumenta a absorção de S e, conseqüentemente, seu acúmulo na MS da parte aérea da planta.

Praticamente não há dados na literatura que permitam fazer algumas comparações sobre este efeito.

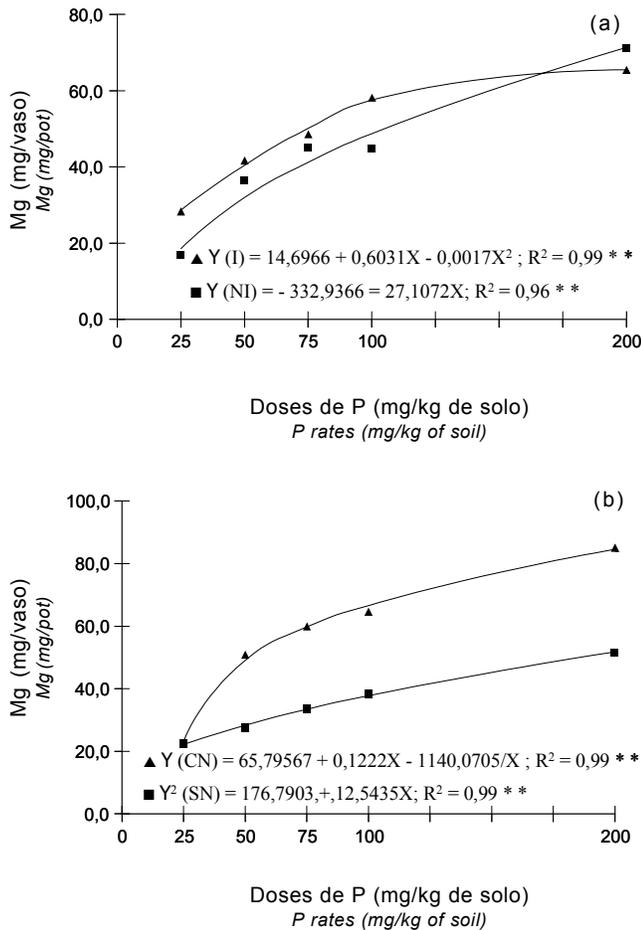


Figura 9 - Quantidade acumulada de Mg na MS da parte aérea do braquiária MG-4, em função das doses de P, para inoculado (I) e não inoculado (NI), (a); aplicação (CN) ou não (SN) de N em cobertura, (b).

Figure 9 - Accumulated amount of Mg in the DM of the above ground parts of the braquiaria MG-4, as a function of the P rates, to inoculated (I), not inoculated (NI) (a); to application (CN) or no (SN) of N as a top dressing fertilization (b).

Tabela 5 - Quantidade acumulada de Mg na MS da parte aérea do amendoim forrageiro, em função da inoculação com *Glomus etunicatum*

Table 5 - Content accumulated of Mg in the DM of the above ground parts of the forage peanut, as a function of the inoculation with *Glomus etunicatum*

Tratamento Treatment	Mg (mg/vaso) Mg (mg/pot)
Inoculado Inoculated	10,43 ^a
Não inoculado Not inoculated	8,83 ^b

Médias seguidas por letras diferentes não são iguais pelo teste F ($P < 0,05$) (Means followed by different letters differ by F test [$P < 0,05$]).

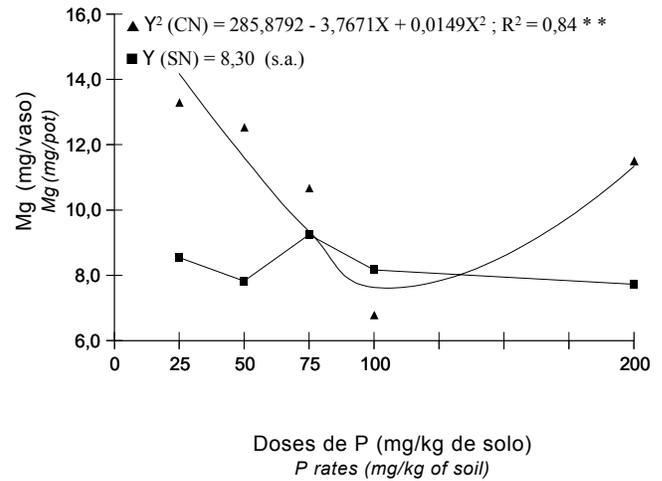


Figura 10 - Quantidade acumulada de Mg na MS da parte aérea do amendoim forrageiro, em função das doses de P e da aplicação (CN) ou não (SN) de N em cobertura; sem ajuste (s.a.).

Figure 10 - Accumulated amount of Ca in the DM of the above ground parts of the forage peanut, as a function of the P rates and of the application (CN) or no (SN) of N as a top dressing fertilization (b); without adjustment (w.a.).

Os trabalhos encontrados foram os de Falade (1975) e Hoffmann (1992). O primeiro autor citado, após estudar o efeito do P em cinco gramíneas tropicais (*Panicum maximum*, *Andropogon gayanus*, *Pennisetum purpureum* roxo e verde, *Cynodon plectostachyus*), verificou que o acúmulo de S acompanhou a produção de MS. Hoffmann (1992) também encontrou resultados semelhantes para a braquiária e o colômbio.

Analisando os efeitos dos fatores estudados sobre o acúmulo de S na MS da parte aérea do amendoim forrageiro, observa-se que quando o P interage com a inoculação e/ou N há uma queda do acúmulo de S nas menores doses de P e posterior aumento nas doses mais elevadas. Porém, nas plantas controle ocorreu o inverso (Figura 12).

A inoculação, bem como as altas doses de P utilizadas e o fato de o N estimular a absorção e translocação de P (Cole et al., 1963), pode explicar este decréscimo de S, já que o P seria mais competitivo que o S pelos sítios de absorção.

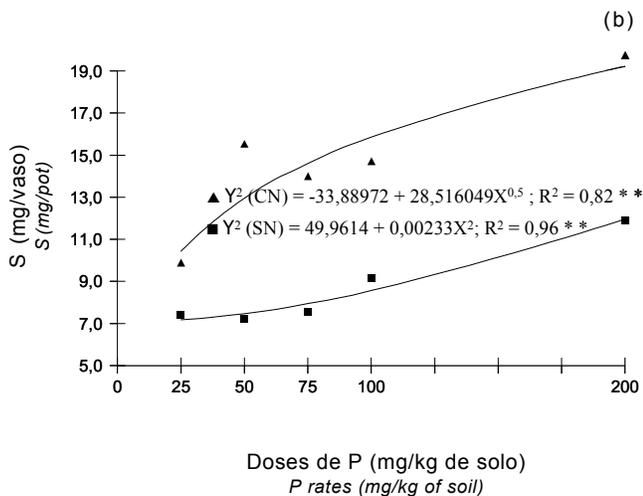
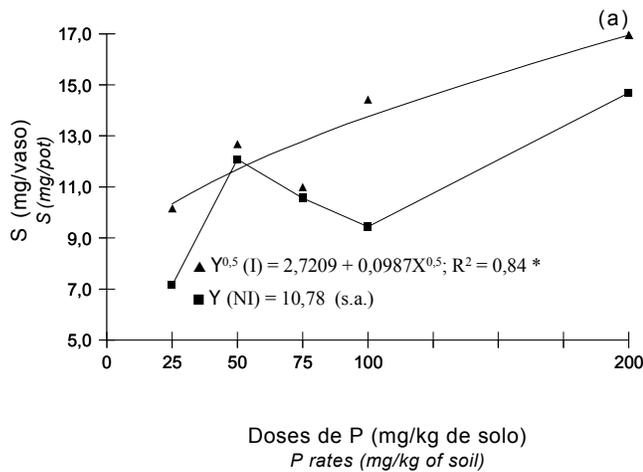


Figura 11 - Quantidade acumulada de S na MS da parte aérea do braquiária MG-4, em função das doses de P, para inoculado (I) e não inoculado (NI) (a); para aplicação (CN) ou não (SN) de N em cobertura (b); sem ajuste (s.a.).

Figure 11 - Accumulated amount of S in the DM of the above ground parts of the braquiaria MG-4, as a function of the P rates, to inoculated (I), not inoculated (NI) (a); to application (CN) or no (SN) of N as a top dressing fertilization (b); without adjustment (w.a.).

Conclusões

A adubação fosfatada e, principalmente, a nitrogenada provocaram um aumento na quantidade acumulada de N, P, K, Ca, Mg e S na braquiária MG-4, não se verificando tal aumento com a micorrização. No amendoim forrageiro observou-se redução destes minerais com a aplicação de N, ao passo que a micorrização resultou em aumento dos mesmos. Por outro lado, a adubação fosfatada provocou um pequeno aumento no acúmulo de minerais na MS da parte aérea do amendoim forrageiro.

R. Bras. Zootec., v.31, n.2, p.605-616, 2002

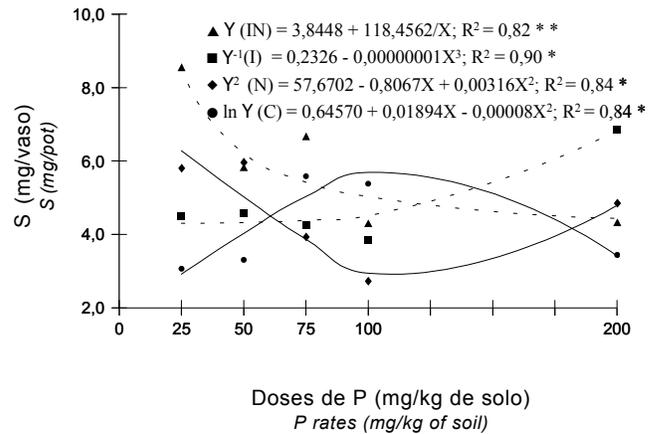


Figura 12 - Quantidade acumulada de S na MS da parte aérea do amendoim forrageiro, em função das doses de P, para inoculado, com N (IN); inoculado, sem N (I); não inoculado, com N (N) e não inoculado, sem N (C).

Figure 12 - Accumulated amount of S in the DM of the above ground parts of the forage peanut, as a function of the P rates, to inoculated, with N (IN); inoculated, without N (I); not inoculated, with N (N) and not inoculated, without N (C).

Literatura Citada

- ABBOTT, L.K.; ROBSON, A.D. Infectivity of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural soils. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.33, n.6, p.1049-1059, 1982.
- ANDREW, C.S.; ROBINS, M.F. The effect of phosphorus on the growth, chemical composition, and critical phosphorus percentages of some tropical pastures grasses. **Australian Journal of Agriculture Research**, v.22, n.2, p.693-706, 1971.
- AMES, R.N.; PORTER, L.K.; ST. JOHN, T.V. Nitrogen sources on 'A' values for vesicular-arbuscular and mycorrhizal sorghum grown at three rates of ^{15}N - ammonium sulphate. **New Phytology**, v.97, n.2, p.269-276, 1984.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS - AOAC. **Official methods of analysis**. 15.ed. Virgínia: 1990. v.1, 648p.
- BAREA, J.M.; AZCÓN, R.; AZCÓN-AGUILAR, C. Time-course of N_2 (^{15}N) fixation in the field by clover growing alone or in mixture with ryegrass to improve pasture productivity, and inoculated with vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. **New Phytology**, v.112, n.3, p.399-404, 1989.
- BLANCHARD, R.W.; REHM, G.; CALDEWELL, A.C. Sulfur in plant materials by digestion with nitric and perchloric acid. **Soil Society American Proceeding**, v.29, n.1, p.71-72, 1965.
- BOTREL, M.A.; ALVIM, M.S.; MOZZER, O.L. *Fatores de adaptação de espécies forrageiras*. Curso de Pecuária Leiteira. Coronel Pacheco: EMBRAPA, 1990. 21p. (Série Documentos, 33). 1990.

- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL - CIAT. **Informe anual del programa de pastos tropicales**. Cali: 1982. 302p.
- COLE, C.V.; GRUNES, D.L.; PORTER, L.K. The effects of nitrogen on short-term phosphorus absorption and translocation in corn (*Zea mays*). **Soil Society American Proceeding**, v.27, n.4, p.671-674, 1963.
- CORREA, L.A. **Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de *B. decumbens* Stapf, *B. brizantha* (Hochst.) Stapf. Cv. *Marandu* e *P. maximum* Jacq., em latossolo vermelho-amarelo, álico**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1991. 83p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1991.
- COSTA G.G.; MONERAT, P.H.; GOMIDE, J.A. Efeito de doses de fósforo sobre o crescimento e teor de fósforo de capim-jaraguá e capim-colonião. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.12, n.1, p.1-10, 1983.
- CRESS, W.A.; THRONEBERRY, G.O.; LINDSEY, D.L. Kinetics of phosphorus absorption by mycorrhizal and non mycorrhizal tomato roots. **Plant Physiology**, v.64, n.3, p.484-487, 1979.
- CRUSH, J.R. Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhizal. VII. Growth and nodulation of some herbage legumes. **New Phytology**, v.73, n.4, p.743-749, 1974.
- EVANS, P.S. Comparative root morphology of some pasture grasses and clovers. **New Zealand Journal of Agriculture of Research**, v.20, n.3, p.331-335, 1977.
- FALADE, J.A. The effect of phosphorus on growth and mineral composition of five tropical grasses. **East African Agriculture Forage Journal**, v.41, n.4, p.342-350, 1975.
- FONSECA, D.M. **Níveis críticos de P em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa***. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1987. 146p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Solos) - Universidade Federal de Viçosa, 1987.
- FILIZZOLA, V.L.; BAUMGARTNER, J.G. **Efeito da calagem e da adubação com fósforo e zinco no desenvolvimento da *Brachiaria decumbens***. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 1984. 143p.
- GIBSON, A.H. Limitation to nitrogen fixation in legumes. In: NEWTON, W.E.; NYMAN, O.J. (Eds.). In: **Proceedings of the International Symposium of Nitrogen Fixation**. Washington: University Press, 1976. v.2, p.400-428.
- GOMIDE, J.A.; COSTA, G.G. Adubação nitrogenada e consorciação de capim-colonião e capim-jaraguá. III. Efeitos de níveis de nitrogênio sobre a composição mineral e digestibilidade da matéria seca das gramíneas. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.13, n.2, p.215-224, 1984.
- GOMIDE, J.A.; ZAGO, C.P.; RIBEIRO, A.C. et al. Calagem e fontes de fósforo no estabelecimento e produção de capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq.) no cerrado. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.15, n.2, p.241-246, 1986.
- GUSS, A., GOMIDE, J.A., NOVAIS, R.F. Exigência de fósforo para o estabelecimento de quatro espécies de *Brachiaria* em solos com características físico-químicas distintas. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.19, n.4, p.278-289.
- HAYMAN, D.S., MOSSE, B. 1972. The role of vesicular-arbuscular mycorrhizal in the removal of phosphorus from soil by plant roots. **Review Ecology Biology Soil**, v.9, n.2, p.483-470, 1990.
- HOFFMANN, C.R. **Nutrição mineral e crescimento da braquiária e do colonião, sob influência das aplicações de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre em latossolo da região noroeste do Paraná**. Lavras: Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1992. 204p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1992.
- IBIJIBIJEN, J.; URQUIAGAS, S.; ISMAILI, M. Effect of arbuscular mycorrhizal on uptake of nitrogen by *Brachiaria arrecta* and *Sorghum vulgare* from soils labelled for several years with ¹⁵N. **New Phytology**, v.133, n.3, p.487-494, 1996.
- LU, X.; KOIDE, R.T. The effects of mycorrhizal infection on components of plant growth and reproduction. **New Phytology**, v.128, n.2, p.211-218, 1994.
- MALAVOLTA, E.; PAULINO, V.T. Nutrição mineral e adubação do gênero *Brachiaria*. In: ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, 2., Nova Odessa, 1991. **Encontro...** Nova Odessa: 1991. p.45-136.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 210p.
- MARSCHNER, H.; DELL, B. Nutrient uptake in mycorrhizal symbiosis. **Plant and Soil**, v.159, n.1, p.89-102, 1994.
- MARTIM, R.A. **Doses de nitrogênio e de potássio para produção, composição e digestibilidade dos capins coastcross 1 e tifton 85 em um Latossolo Vermelho-Amarelo**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997. 109p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997.
- MASCARENHAS, H.A.A. **Cálcio, enxofre e ferro no solo e na planta**. Campinas: Fundação Cargill, 1977. 95p.
- MENEGATTI, D.P. **Nitrogênio na produção e no valor nutritivo de três gramíneas do gênero *Cynodon***. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1999. 76p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Lavras, 1999.
- MOREIRA, S.M.; LOURDES, S.G.; THIÉBAU, J.T.L. Efeito da interação gramínea - solo - calagem sobre a eficiência dos fosfatos naturais. **Revista Ceres**, v.26, n.146, p.360-373, 1979.
- NASCIMENTO, V.M.; ISEPON, O.J.; FERNANDES, F.M. Efeito de doses de NPK nas relações K, Ca e Mg em *Brachiaria decumbens* Stapf., cultivada em latossolo da região do cerrado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27., 1990, Campinas. **Resumos ...** Campinas: 1990, p.241.
- SAIF, S.R. Growth responses of tropical forage plant species to vesicular-arbuscular mycorrhizae: I. growth mineral uptake and mycorrhizal dependency. **Plant and Soil**, v.97, n.1, p.25-35, 1987.
- SIEVERDING, E.; TORO, S. Influence of soil water regime on VA mycorrhizae. V. Performance of different VAM fungal species with cassava. **Journal of Agricultural Crop Science**, v.161, n.1, p.322-332, 1988.
- SIQUEIRA, J.O.; SAGGIN-JR., O.J. The importance of mycorrhizal association in natural low fertility soil. In: MACHADO, A.T. et al. (Eds.) SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL, 1992, Belo Horizonte. **Anais...** Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1995. p.239-280.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A. **SANEST: sistema de análise estatística para microcomputadores**. Manual do usuário. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 1989. 10p.

Recebido em: 30/04/01

Aceito em: 05/11/01