

# FONTES E DOSES DE FÓSFORO NA CONCENTRAÇÃO E NO CONTEÚDO DE NITROGÊNIO E MICRONUTRIENTES NA ALFAFA E NA CENTROSEMA<sup>1</sup>

ADÔNIS MOREIRA<sup>2</sup>, EURÍPEDES MALAVOLTA<sup>3</sup>, LARISSA ALEXANDRA CARDOSO MORAES<sup>2</sup>, REGES HEINRICH<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Projeto parcialmente financiado pela FAPESP. Recebido para publicação em 10/09/01. Aceito para publicação em 11/12/02.

<sup>2</sup> Embrapa Amazônia Ocidental (CPAA), Caixa Postal 319, 69011-970, Manaus, AM.

E-mail: adonis@cpaa.embrapa.br. Bolsista CNPq.

<sup>3</sup> Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo, Caixa Postal 96, 13400-970 Piracicaba, SP. Bolsista CNPq. E-mail: mala@cena.usp.br.

RESUMO: O objetivo deste trabalho foi o de avaliar o efeito de fontes e doses de fósforo na concentração e o conteúdo de N, Cu, Fe, Mn e Zn na alfafa (*Medicago sativa*) e na centrosema (*Centrosema pubescens*) cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em parcela subdividida, em que a parcela foi constituída pelo fatorial 4 x 4 x 2: quatro fontes (fosfato natural da Carolina do Norte, fosfato natural de Arad, termofosfato "Yoorin" e superfosfato triplo) e quatro doses (0, 50, 100 e 200 mg kg<sup>-1</sup> de P) e duas leguminosas, com três repetições. Foram realizados seis cortes (subparcela) com intervalo de 30 dias. Os resultados mostram que a doses de fósforo aumentaram a produção de massa seca na alfafa e na centrosema. A concentração de nitrogênio na planta aumentou somente em solos com pH adequado para o desenvolvimento de nódulos fixadores de N. A concentração de cobre, ferro e manganês não foram afetados pelas fontes e doses de P. Nas duas leguminosas, o aumento das doses, independentemente da fonte de fósforo, diminuiu a absorção de zinco. As épocas de corte afetaram a concentração e o conteúdo de N, Cu, Fe, Mn e Zn na massa seca da parte aérea da alfafa e da centrosema.

Palavras-chave: *Centrosema pubescens*, *Medicago sativa*, cobre, ferro, manganês, zinco.

## SOURCES AND RATES OF PHOSPHORUS ON NITROGEN AND MICRONUTRIENTS LEVELS IN ALFALFA AND CENTROSEMA

ABSTRACT: This study evaluated the effects of phosphorus on the content and concentration of N, Cu, Fe, Mn and Zn in alfalfa (*Medicago sativa*) and centrosema (*Centrosema pubescens*) in a Xantic Ferralsol (dystrophic Red Yellow Latosol). The experimental design was a randomized split-plot design (4 x 4 x 2) with three replications. Four sources (North Carolina rock phosphate, Arad rock phosphate, "Yoorin" thermophosphate and triple superphosphate), four rates (0, 50, 100 and 200 mg kg<sup>-1</sup> of P), and two legumes were studied. Six monthly harvests (sub treatments) were made. The various rates of phosphorus applied increased the total dry matter in alfalfa and Centrosema. The phosphorus rates showed the highest concentration of nitrogen only when the pH of soil was adequate for development of nitrogen fixing nodules in both legumes. The concentrations of copper, iron and manganese were not affected neither by sources nor by rates of P applied. Phosphorus rates reduced the absorption of zinc in the four sources. The harvest time affected the content and concentration of N, Cu, Fe, Mn and Zn in the dry matter of alfalfa and centrosema.

Key words: *Centrosema pubescens*, *Medicago sativa*, copper, iron, manganese, zinc.

## INTRODUÇÃO

Na maioria das reações químicas no solo e nas plantas em que os íons fosfatos estão envolvidos existe a influência de outros elementos químicos (ADAMS, 1980). O mesmo autor salientou que essas interações entre o fósforo e outros íons são de grande importância em dois aspectos: (a) O íon fosfato, em níveis adequados ou em excesso, afeta negativamente ou positivamente a utilização de outros íons; (b) a utilização do fósforo é afetada quando outros nutrientes estão em níveis adequados ou em excesso nas plantas.

Segundo MENGEL e KIRKBY (1987), o fósforo é absorvido na forma mineral sendo rapidamente incorporado em compostos orgânicos. Altas concentrações de cobre, ferro, manganês e zinco podem determinar a precipitação do fosfato inorgânico nos vasos do xilema, afetando, com isso, a sua assimilação. Sabe-se, também, que esses micronutrientes podem ser introduzidos na cadeia alimentar pela adição de fertilizantes fosfatados (SHARPLEY e MENZEL, 1987). Isso é resultado da presença desses elementos em rochas fosfáticas e de não eliminação dos mesmos no processo de manufatura dos adubos.

Com relação ao nitrogênio, a eficiência na nodulação e a fixação simbiótica são diretamente influenciadas pela presença do P. Na nitrogenase e na redutase do nitrato, a energia biológica é proveniente do trifosfato de adenosina (ATP), fornecendo a energia necessária para o funcionamento desses dois processos metabólicos (POSTGATE, 1989). BASURCO *et al.* (1984), ao estudarem aplicação de fósforo para a alfafa, encontraram interação significativa entre o P e a eficiência na fixação de N pelas plantas; o mesmo foi observado para leguminosas provenientes de regiões de clima tropical e com solos naturalmente ácidos (ANDREW e JONES, 1978).

O objetivo deste trabalho foi o de avaliar o efeito de fontes (fosfato natural da Carolina do Norte, fosfato natural de Arad, termofosfato Yoorin, superfosfato triplo) e doses de fósforo sobre a concentração e o conteúdo de N, Cu, Fe, Mn e Zn na alfafa (*Medicago sativa*) e centrosema (*Centrosema pubescens*) cultivadas em Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de outubro de 1995 a agosto de 1996 em casa-de-vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA/USP), localizado no Município de Piracicaba, nas coordenadas geográficas de 22°42'30" LS e 47°38'00" LW, Estado de São Paulo.

Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema de parcela subdividida, em que a parcela é constituída pelo fatorial 4 x 4 x 2, sendo: quatro fontes (fosfato natural da Carolina do Norte – FNCN: 289,9 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 6,6 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, 1023,8 mg kg<sup>-1</sup> de Fe, 17,4 mg kg<sup>-1</sup> de Mn e 404,0 mg kg<sup>-1</sup> de Zn; fosfato natural de Arad – FNA: 331,2 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 19,2 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, 309,6 mg kg<sup>-1</sup> de Fe, 0,0 mg kg<sup>-1</sup> de Mn e 493,1 mg kg<sup>-1</sup> de Zn; termofosfato “Yoorin” – TY: 173,3 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 51,4 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, 1529,9 mg kg<sup>-1</sup> de Fe, 2613,5 mg kg<sup>-1</sup> de Mn e 494,9 mg kg<sup>-1</sup> de Zn e superfosfato triplo – SFT: 476,8 g kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 8,9 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, 1063,3 mg kg<sup>-1</sup> de Fe, 163,6 mg kg<sup>-1</sup> de Mn e 8,4 mg kg<sup>-1</sup> de Zn), quatro doses (0, 50, 100 e 200 mg kg<sup>-1</sup> de P) e duas leguminosas (alfafa e centrosema), em seis épocas de corte (subparcela) em intervalos de 30 dias, com três repetições. O solo utilizado foi um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, textura média, coletado a 0-20 cm de profundidade, no município de Nova Odessa, Estado de São Paulo, apresentando as seguintes características: pH<sub>CaCl2</sub> = 3,7; pH em água = 4,3, M.O. = 20,3 g kg<sup>-1</sup>; B<sub>(CaCl2)</sub> = 0,5 mg dm<sup>-3</sup>; B<sub>(cloreto de cálcio)</sub> = 0,2 mg dm<sup>-3</sup>; B<sub>(água quente)</sub> = 0,4 mg dm<sup>-3</sup>; Cu<sub>(Mehlich 1)</sub> = 1,2 mg dm<sup>-3</sup>; Cu<sub>(DTPA-TEA)</sub> = 1,5 mg dm<sup>-3</sup>; Fe<sub>(DTPA-TEA)</sub> = 55,0 mg dm<sup>-3</sup>; Fe<sub>(Mehlich 1)</sub> = 45,0 mg dm<sup>-3</sup>; Fe<sub>(Mehlich 3)</sub> = 86,5 mg dm<sup>-3</sup>; Mn<sub>(DTPA-TEA)</sub> = 6,5 mg dm<sup>-3</sup>; Mn<sub>(Mehlich 1)</sub> = 11,1 mg dm<sup>-3</sup>; Mn<sub>(Mehlich 3)</sub> = 4,1 mg dm<sup>-3</sup>; Zn<sub>(DTPA-TEA)</sub> = 0,3 mg dm<sup>-3</sup>; Zn<sub>(Mehlich 1)</sub> = 2,7 mg dm<sup>-3</sup>; Zn<sub>(Mehlich 3)</sub> = 1,5 mg dm<sup>-3</sup>; Al<sup>3+</sup> = 21 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; H<sup>+</sup> + Al<sup>3+</sup> = 96 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, SB = 6,0 mmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e V% = 6,0.

Foram utilizados vasos de barro com cinco quilos de capacidade, impermeabilizados internamente com “neutrol” e providos de coletores para impedir a lixiviação dos nutrientes. Utilizaram-se as cultivares “Florida 77” (alfafa) e “Deodoro” (centrosema).

A acidez do solo foi corrigida 30 dias antes do plantio visando elevar o índice de saturação por bases ao valor de 70% para alfafa e 50% para

centrosema, empregando-se calcário dolomítico com as seguintes características: 40% de CaO; 15% de MgO; PN 108% e PRNT 86%. Exceto o fósforo e o nitrogênio, a adubação com os demais nutrientes foi feita, conforme MALAVOLTA (1980), para experimentos realizados em condições de casa de vegetação (KCl - 50 mg kg<sup>-1</sup> de K, H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> - 0,5 mg kg<sup>-1</sup> de B, CuSO<sub>4</sub> - 1,5 mg kg<sup>-1</sup> de Cu, CuSO<sub>4</sub> - 5,0 mg kg<sup>-1</sup> de Mn e ZnSO<sub>4</sub> - 5,0 mg kg<sup>-1</sup> de Zn). Após o segundo e o quarto corte, foram efetuadas as adubações de manutenção com 50 mg kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e após o terceiro corte com micronutrientes (B, Cu, Mn e Zn) na mesma dose da adubação de plantio. Os vasos foram irrigados diariamente para manter 80% do valor total de poros (VTP).

Após a escarificação das sementes da alfafa e da centrosema, estas foram inoculadas com *Rhizobium meliloti* (alfafa) e *Bradyrhizobium* spp. (centrosema), posteriormente, tratadas com 0,1 mg L<sup>-1</sup> de cobalto e 0,1 mg L<sup>-1</sup> de molibdênio. Nos vasos, foram mantidas cinco plantas uniformes. Após três meses do plantio, foram realizados na alfafa e na centrosema, na altura de 10 cm do solo, seis cortes consecutivos com intervalo de 30 dias. As raízes foram coletadas ao final do experimento (após o sexto corte). Após cada corte determinou-se a concentração e o conteúdo de nitrogênio, cobre, ferro, manganês e zinco na massa seca da parte aérea das

plantas, procedimentos esses descritos por MALAVOLTA *et al.* (1997).

A estimativa do conteúdo (Co) dos nutrientes na planta foi determinada pela equação: Co = concentração do nutriente na planta x produção de massa seca, sendo os resultados do N em mg/vaso e do Cu, Fe, Mn e Zn em mg/vaso. Cada vaso é a soma de cinco plantas.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F), regressões, teste de comparação de médias (Tukey a 5% de probabilidade) e correlações (PIMENTEL GOMES, 1990).

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

A concentração e o conteúdo de nitrogênio na massa seca (MS) da parte aérea da alfafa e da centrosema são apresentados nos Quadros 1, 2 e 3. Observa-se que, exceto o termofosfato Yoorin na alfafa, apenas na centrosema houve incremento significativo na concentração de N com aumento das doses de fósforo, não havendo também diferenças estatísticas entre as leguminosas e as fontes, independentemente da dose aplicada. A não significância do efeito das doses no aumento da concentração de nitrogênio na alfafa contradiz os resultados mostra

**Quadro 1. Equações de regressão da produção de massa seca das concentrações e conteúdo de nitrogênio na matéria seca da parte aérea das plantas para as fontes, em resposta às doses de fósforo na alfafa e na centrosema**

Fonte	Produção de MS	Concentração	Conteúdo
	(gramas)	(g kg <sup>-1</sup> )	(mg/vaso <sup>1</sup> )
Alfafa			
FNCN	Y = 13,059 + 0,336X - 0,001X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,98**	Y = 27,601-0,025X+0,0001X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,54 <sup>NS</sup>	Y = 81,686 + 0,570X R <sup>2</sup> = 0,80**
FNA	Y = 12,541 + 0,346X - 0,001X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,96**	Y = 26,890-0,031X+0,0002X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,34 <sup>NS</sup>	Y = 73,078 + 0,576X R <sup>2</sup> = 0,84**
TY	Y = 13,050 + 0,436X - 0,001X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,99**	Y = 25,357 + 0,032X R <sup>2</sup> = 0,89**	Y = 173,182 + 1,207X R <sup>2</sup> = 0,80**
SFT	Y = 14,011 + 0,319X - 0,001X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,94**	Y = 27,839+0,021X+0,0001X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,38 <sup>NS</sup>	Y = 79,099 + 0,761X R <sup>2</sup> = 0,89**
Centrosema			
FNCN	Y = 29,305 + 0,487X - 0,002X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,89**	Y = 25,348 + 0,030X R <sup>2</sup> = 0,83**	Y = 154,260 + 1,049X R <sup>2</sup> = 0,87**
FNA	Y = 30,054 + 0,608X - 0,002X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,78**	Y = 24,976 + 0,016X R <sup>2</sup> = 0,72**	Y = 171,967 + 0,722X R <sup>2</sup> = 0,69**
TY	Y = 28,940 + 0,640X - 0,002X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,95**	Y = 25,362 + 0,033X R <sup>2</sup> = 0,93**	Y = 92,271 + 0,854X R <sup>2</sup> = 0,73**
SFT	Y = 27,681 + 0,537X - 0,002X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,98**	Y = 24,966 + 0,015X R <sup>2</sup> = 0,91**	Y = 150,673 + 0,988X R <sup>2</sup> = 0,86**

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>NS</sup> Não significativo. FNCN = fosfato natural da Carolina do Norte; FNA = fosfato natural de Arad; TY = termofosfato Yoorin; SFT = Superfosfato triplo. <sup>1</sup>soma de cinco plantas.

**Quadro 2. Concentração de N, Cu, Fe, Mn e Zn na alfafa e na centrosema para as fontes, dentro de doses de fósforo<sup>(1)</sup>**

	50		100		200	
	Alfafa	Centrosema	Alfafa	Centrosema	Alfafa	Centrosema
Nitrogênio (g kg <sup>-1</sup> )						
FNCN	26,97aA	27,32aA	25,88aA	29,34aA	26,69aA	30,77aA
FNA	24,18aA	25,61aA	26,54aA	27,71aA	26,88aA	27,61aA
TY	25,74aA	27,81aA	26,89aA	29,21aA	27,09aA	31,55aA
SFT	28,03aA	26,27aA	26,24aA	26,53aA	28,11aA	27,78aA
Média	26,33	26,75	26,39	28,20	27,19	29,43
C.V.(%)	37,78					
Cobre (mg kg <sup>-1</sup> )						
FNCN	14,24aB	17,97aA	13,65aB	18,48aA	13,78aB	17,48aA
FNA	14,26aB	17,14aA	15,07aB	17,51aA	15,22aB	18,52aA
TY	15,21aB	17,79aA	14,54aB	16,88aA	14,07aB	16,38aA
SFT	15,35aB	17,96aA	13,96aB	17,15aA	13,29aB	16,85aA
Média	14,77	17,72	14,31	17,51	14,09	17,31
C.V.(%)	30,10					
Ferro (mg kg <sup>-1</sup> )						
FNCN	134,54aB	148,32aA	125,47aB	163,66aA	125,66aB	142,02bA
FNA	118,11bB	133,37bA	128,74aB	146,61bA	134,00aB	151,57abA
TY	128,72abB	149,45aA	128,40aB	138,20bA	126,48aB	164,85aA
SFT	120,05bB	147,68aA	136,95aB	147,45bA	111,73bB	149,90bA
Média	125,36	144,71	129,89	148,98	124,97	152,09
C.V.(%)	18,49					
Manganês (mg kg <sup>-1</sup> )						
FNCN	82,28aB	226,25abA	85,79aB	217,00aA	78,34aB	202,58bA
FNA	80,06aB	209,67bA	85,19aB	233,08aA	86,77aB	241,75aA
TY	78,50aB	222,00abA	80,85aB	215,25aA	70,21aB	179,67bA
SFT	91,77aB	237,64aA	90,03aB	231,33aA	94,64aB	232,22aA
Média	83,15	223,89	85,47	224,17	82,49	214,06
C.V.(%)	33,85					
Zinco (mg kg <sup>-1</sup> )						
FNCN	49,05aB	59,47aA	43,92bB	54,61aA	41,35bB	43,99bA
FNA	51,02aB	55,44abA	50,68aA	52,72aA	43,49abB	50,92aA
TY	44,46bB	49,23cA	44,92bA	41,71bB	36,76cA	38,00cA
SFT	49,91aA	52,32bcA	49,83aB	52,43aA	46,96aA	48,20abA
Média	48,61	54,12	47,34	50,37	42,14	45,30
C.V.(%)	16,95					

<sup>(1)</sup> Médias dentro de cada dose na mesma fonte e no mesmo nutriente, seguidas na mesma linha por letras maiúsculas na comparação das duas leguminosas e minúsculas nas colunas na comparação das fontes de p, no mesmo nutriente, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; FNCN = fosfato natural da Carolina do Norte; FNA = fosfato natural de Arad; TY = termofosfato Yoorin; SFT = Superfosfato triplo

<sup>(2)</sup> Soma de cinco plantas

**Quadro 3. Conteúdo de N, Cu, Fe, Mn e Zn na planta para as fontes, dentro de doses de fósforo<sup>(1)</sup>**

	50		100		200	
	Alfafa	Centrosema	Alfafa	Centrosema	Alfafa	Centrosema
Nitrogênio (Mg/vaso <sup>1</sup> )						
FNCN	124,77aB	231,96aA	140,84aB	265,43aA	168,03aB	321,55abA
FNA	101,80aB	240,37aA	151,89aB	263,71aA	164,50aB	268,45bA
TY	135,01aB	268,24aA	184,92aB	303,76aA	218,51aB	364,42aA
SFT	138,62aB	208,63aA	147,45aB	263,78aA	212,69aB	300,96abA
Média	125,05	237,30	156,28	274,17	190,93	313,85
C.V.(%)	60,02					
Cobre (mg/vaso)						
FNCN	67,52aB	151,60aA	78,54bB	161,89aA	92,47bB	175,59aA
FNA	63,54aB	159,61aA	90,28abB	164,54aA	100,06abB	174,02aA
TY	86,44aB	166,67aA	106,59aB	168,97aA	123,63aB	186,72aA
SFT	80,18aB	148,99aA	79,27bB	166,79aA	103,71abB	179,23aA
Média	74,42	156,72	88,67	165,55	104,97	178,89
C.V.(%)	41,06					
Ferro (mg/vaso)						
FNCN	642,76aB	1304,31aA	721,26aB	1505,47aA	810,47aB	1514,95bA
FNA	525,78aB	1292,54aA	750,81aB	1446,61aA	839,55aB	1556,62bA
TY	708,24aB	1497,75aA	914,36aB	1555,31aA	1045,87aB	2042,83aA
SFT	656,65aB	1316,02aA	760,80aB	1532,63aA	856,53aB	1699,08bA
Média	633,36	1352,66	786,81	1510,01	888,11	1703,37
C.V.(%)	45,269					
Manganês (mg/vaso)						
FNCN	370,91aB	1958,57aA	474,87aB	2063,43bA	484,30aB	2210,99cA
FNA	355,44aB	2099,21aA	482,86aB	2393,70abA	522,41aB	2453,24abA
TY	444,39aB	2178,18aA	542,97aB	2259,14abA	577,19aB	2102,91bcA
SFT	466,33aB	2156,48aA	481,34aB	2489,65aA	698,57aB	2694,89aA
Média	409,27	2098,11	495,51	2301,48	570,62	2365,51
C.V.(%)	59,036					
Zinco (mg/vaso)						
FNCN	236,49aB	505,36aA	249,44aB	495,54aA	270,43aB	458,89aA
FNA	226,14aB	537,55aA	292,04aB	502,06aA	272,72aB	509,52aA
TY	229,88aB	482,28aA	308,65aB	423,69aA	298,13aB	449,11aA
SFT	244,87aB	451,31aA	279,70aB	524,01aA	355,39aB	523,50aA
Média	234,35	494,13	282,46	486,33	274,17	485,26
C.V.(%)	33,841					

<sup>(1)</sup> Médias dentro de cada dose na mesma fonte e no mesmo nutriente, seguidas na mesma linha por letras maiúsculas na comparação das duas leguminosas e minúsculas nas colunas na comparação das fontes de P, no mesmo nutriente, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey; FNCN = fosfato natural da Carolina do Norte; FNA = fosfato natural de Arad; TY = termofosfato Yoorin; SFT = Superfosfato triplo.

<sup>2</sup>Soma de cinco plantas.

dos por ANDREW (1978), no qual a assimilação do N pelas plantas é altamente beneficiada com o aumento da concentração de P.

Para MALAVOLTA (1980), diversos fatores podem ter afetado esta interação (leguminosas vs doses de P), sendo um deles o pH. De acordo com RHYKERD e OVERDAHL (1972), o pH em água recomendado para a produção e uma eficiente nodulação nessa cultura está na faixa de 6,5 a 7,5 e, no presente estudo, ficou entre 4,9 a 6,0. A centrosema, ao contrário, mais tolerante à acidez (MUNNS, 1978), teria se beneficiado da fixação simbiótica; o pH do solo cultivado com essa leguminosa ficou na faixa de 4,8 a 5,8. O aumento significativo na concentração de N na alfafa com aplicação do termofosfato Yoorin (TY) foi diretamente proporcional ao efeito das doses de fósforo no pH ( $pH = 5,37 + 0,003P$ ,  $R^2 = 0,70$ ). Os termofosfatos têm efeito corretivo da acidez do solo (CASTRO, 1991). Os fosfatos naturais tiveram reação neutra (FNCN - pH = 5,44, FNA - pH = 5,53) e o superfosfato triplo acidificou o solo ( $pH = 5,46 - 0,03P$ ,  $R^2 = 0,58$ ).

Nas duas leguminosas, na média das fontes e das doses de P nos seis cortes realizados, houve maior acúmulo de N nas folhas (32,01 g kg<sup>-1</sup> na alfafa e 28,38 g kg<sup>-1</sup> na centrosema) do que no caule (14,26 g kg<sup>-1</sup> na alfafa e 17,43 g kg<sup>-1</sup> na centrosema). Segundo MALAVOLTA (1980), isso acontece porque a folha é o órgão de residência para o elemento, enquanto o caule seria para o transporte.

Com relação às épocas de corte (Quadro 4), verificou-se menor concentração de nitrogênio nas duas primeiras; isso provavelmente ocorreu, porque no início da simbiose entre a bactéria e a planta existe uma menor eficiência na absorção de N; nesta fase, a bactéria prioriza o seu metabolismo na formação dos nódulos em detrimento da redução de N<sub>2</sub> para a planta (VIANDS *et al.*, 1981), fato esse também verificado por MOREIRA *et al.* (1997a) com a alfafa, em estudo com fontes e doses de enxofre. Outro fator também observado foi o maior conteúdo de nitrogênio na centrosema (cerca de 41% superior à alfafa), em todas as fontes e doses de fósforo (Quadros 1 e 3).

**Quadro 4. Produção de massa seca e concentrações de N, Cu, Fe, Mn e Zn na alfafa e na centrosema nos seis cortes realizados - média de todos os tratamentos e das três repetições<sup>(1)</sup>**

Cortes	MS (g)	N (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu	Fe	Mn	Zn
Alfafa						
1º	5,06de	13,98d	11,83c	122,39b	158,63a	41,01c
2º	7,15b	19,06cd	20,66a	169,94a	92,33b	41,72c
3º	6,53bc	27,80bc	14,05bc	116,60bc	119,52b	47,96b
4º	8,25a	38,83a	14,71b	114,54bc	48,96c	46,49b
5º	5,65cd	28,43abc	12,10c	120,32bc	51,16c	49,15b
6º	4,58e	32,88ab	12,59bc	107,37c	56,22c	61,15a
Médias	6,20	26,82	14,32	125,20	87,80	47,91
Centrosema						
1º	12,35b	21,50b	8,97e	131,88bc	206,81b	46,00d
2º	13,85a	18,37c	15,77d	166,45a	224,06ab	48,32cd
3º	11,55c	29,87b	17,14cd	159,19a	243,50a	51,35b
4º	12,13bc	44,52a	18,42bc	143,58b	201,75b	52,49bc
5º	7,04d	30,60b	20,75b	138,04b	234,94a	53,96b
6º	4,69e	18,48c	25,62a	123,09c	198,85b	61,58a
Médias	10,27	27,22	17,78	143,70	218,32	52,28
D.M.S.	0,88	10,86	2,56	13,16	27,42	4,49

<sup>(1)</sup> Médias seguidas por letras distintas nas colunas, em cada leguminosa, diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

<sup>(2)</sup> Soma de cinco plantas.

A concentração de N na alfafa e na centrosema estão na faixa de  $27,2 \pm 1,5 \text{ g kg}^{-1}$  e de  $28,4 \pm 3,3 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente. Para alfafa, esses valores estão abaixo dos obtidos por MOREIRA *et al.* (1997a); com relação à centrosema, os valores estão dentro dos teores de  $27,7 \pm 0,5 \text{ g kg}^{-1}$ , considerados adequados por WERNER e MATTOS (1972) e PINKERTON *et al.* (1997).

As fontes e as doses de fósforo não alteraram significativamente as concentrações de Cu, Fe e Mn na massa seca da parte aérea de ambas as plantas (Quadro 2). Resultados inversos são reportados por LOUÉ (1993) e MARSCHNER (1995), sobre a indução de deficiência desses micronutrientes na presença de altas doses de P. A adubação de manutenção feita com esses nutrientes no terceiro corte, provavelmente, deve ter minimizado este efeito. Verificou-se, também, que as maiores presenças desses micronutrientes no termofosfato não resultaram num aumento na concentração nas duas leguminosas.

Segundo MALAVOLTA (1980), existem vários pontos obscuros sobre alguns mecanismos responsáveis pelas interações entre o fósforo e os micronutrientes Cu, Fe e Mn, isso porque a química do P na ativação de numerosas enzimas que atuam no crescimento ainda não é bem definida, o que é realçado pelas diferenças encontradas neste trabalho, quando comparadas com outros dados existentes entre diferentes leguminosas ou dentro destas.

A média das concentrações de Cu, Fe e Mn e seus respectivos desvios padrões foram de  $16,9 \pm 4,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $137,4 \pm 40,6 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $112,8 \pm 67,2 \text{ mg kg}^{-1}$  na alfafa e de  $18,1 \pm 7,0 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $155,9 \pm 38,5 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $204,2 \pm 99,9 \text{ mg kg}^{-1}$  na centrosema, respectivamente. Essas concentrações são coincidentes com os obtidos por RHYKERD e OVERDAHL (1972), GALLO *et al.* (1974) e MOREIRA *et al.* (1997b) para alfafa e por GALLO *et al.* (1974) para a centrosema.

Visualizando o Quadro 4, percebe-se que, na soma de todas as doses, houve efeito significativo nas concentrações de cobre, ferro, manganês e zinco, em função das épocas de corte. Nota-se que, tanto na alfafa quanto na centrosema, as menores concentrações de Cu foram obtidos no primeiro corte, havendo na alfafa aumento no segundo e uma diminuição nos subseqüentes. Este resultado corrobora os de MOREIRA *et al.* (1997b), que, trabalhando com

alfafa em condições de casa de vegetação, observaram uma diminuição na concentração de cobre, efeito esse mais pronunciado no último corte (sexto). No caso da centrosema, ocorreu o inverso, com a progressão das coletas (cortes), houve aumento significativo no teor foliar. Isso ocorreu, possivelmente, devido ao efeito de concentração (MALAVOLTA, 1980), o que é demonstrado no conteúdo desse nutriente nessa leguminosa (Quadro 3).

Na alfafa, as maiores concentrações de Fe e Mn foram encontradas nos primeiros cortes (Quadro 4), diminuindo significativamente nos subseqüentes, resultado esse, que está de acordo com MOREIRA *et al.* (1997b), em trabalho conduzido em condições de casa de vegetação, com a cultivar "Crioula". Resultados semelhantes também foram observados, no presente trabalho, com a centrosema.

No caso do zinco, os resultados demonstram a existência do efeito de inibição entre o P e Zn (Quadro 5), descritos por LÓPEZ GOROSTIAGA (1972) e LOUÉ (1993). Com o aumento das doses de fósforo ocorreu uma diminuição significativa na concentração de zinco nas duas leguminosas, porém isso pouco refletiu na produção de massa seca (Quadro 1). A adubação de manutenção feita após o terceiro corte aumentou a disponibilidade de Zn no solo, mantendo o teor em níveis adequados na planta (Quadro 4).

Sob condições de altas doses de fósforo, existe uma inibição fisiológica, afetando a translocação do zinco absorvido pelas raízes para a parte aérea da planta (LOUÉ, 1993). Para SAEED e FOX (1979), altas doses de P incrementam a adsorção de Zn, especialmente em latossolos, e com isso, sua solubilidade diminuída, afetando absorção desse nutriente pela planta. Na comparação das duas leguminosas, observa-se que a centrosema apresentou maior concentração e conteúdo de zinco do que a alfafa (Quadros 2 e 3), nas quatro fontes e doses de fósforo. As duas leguminosas apresentaram as maiores concentrações de Zn no sexto corte devido, principalmente ao efeito de concentração (MARSCHNER, 1995) decorrente da menor produção de massa seca (Quadro 4).

As fontes utilizadas tiveram comportamentos distintos, com correlações lineares significativas entre a produção de massa seca e a concentração de zinco no TY ( $r = -0,73$ ) na alfafa e entre a produção de massa seca com a concentração de Zn no

**Quadro 5. Equações de regressão das concentrações e do conteúdo de zinco na matéria seca da parte aérea das plantas em respostas às doses de fósforo**

Fonte	Concentração (mg kg <sup>-1</sup> )	Conteúdo (mg/vaso <sup>1</sup> )
Alfafa		
FNCN	Y = 52,272 - 0,061X R <sup>2</sup> = 0,91**	Y = 150,009 + 0,730X R <sup>2</sup> = 0,64**
FNA	Y = 53,978 - 0,049X R <sup>2</sup> = 0,94**	Y = 152,677 + 0,817X R <sup>2</sup> = 0,63**
TY	Y = 51,520 - 0,076X R <sup>2</sup> = 0,89**	Y = 153,671 + 0,918X R <sup>2</sup> = 0,66**
SFT	Y = 52,672 - 0,030X R <sup>2</sup> = 0,89**	Y = 142,420 + 1,170X R <sup>2</sup> = 0,87**
Centrosema		
FNCN	Y = 61,528 - 0,082**X R <sup>2</sup> = 0,92**	Y = 286,47 + 4,152X - 0,017X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,87**
FNA	Y = 58,152 - 0,041**X R <sup>2</sup> = 0,89**	Y = 293,70 + 4,222X - 0,016X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,81**
TY	Y = 56,050 - 0,103**X R <sup>2</sup> = 0,86**	Y = 292,82 + 2,933X - 0,011X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,69**
SFT	Y = 57,394 - 0,049**X R <sup>2</sup> = 0,83**	Y = 269,54 + 4,207X - 0,015X <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0,99**

\*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; <sup>NS</sup> Não significativo. FNCN = fosfato natural da Carolina do Norte; FNA = fosfato natural de Arad; TY = termofosfato Yoorin; SFT = Superfosfato triplo. <sup>1</sup>soma de cinco plantas.

superfosfato triplo ( $r = -0,72$ ) e no termofosfato ( $r = -0,79$ ) na centrosema. As demais correlações entre a produção e a concentração de Zn nas fontes de P, nas duas leguminosas, não apresentaram significância ( $\alpha = 0,01$ ). Esses resultados, entretanto, não evitaram que as plantas adubadas com termofosfato tivessem maior produção de matéria seca.

Mesmo apresentando maior quantidade de Zn no fertilizante, o termofosfato teve a menor concentração de zinco nas doses 50 e 200 mg kg<sup>-1</sup> na alfafa e nas doses 100 e 200 mg kg<sup>-1</sup> na centrosema, quando comparado com o fosfato natural da Carolina do Norte, o fosfato natural de Arad e o superfosfato triplo (Quadros 2, 3 e 5). Isso ocorreu, possivelmente, devido a efeito de diluição (MARSCHNER, 1995), em decorrência da maior produção de MS nessa fonte de fósforo.

A concentração e o conteúdo de zinco, independentemente das doses e fontes de fósforo, foram afetados pelas épocas de corte (Quadros 2 e 4), e ficaram na faixa de  $49,6 \pm 17,0$  mg kg<sup>-1</sup> na alfafa e de  $49,8 \pm 14,1$  mg kg<sup>-1</sup> na centrosema, estando dentro dos níveis de suficiência obtidos por PINKERTON *et al.* (1997) para ambas as leguminosas.

## CONCLUSÕES

Nas duas leguminosas, as doses de P aumentam a concentração de nitrogênio na planta somente em solos com pH adequado para o desenvolvimento de nódulos fixadores de N<sub>2</sub>.

Na alfafa e na centrosema, as concentrações de cobre, ferro e manganês não são afetados pelas fontes e doses de fósforo.

Nas duas leguminosas, independentemente das fontes, o aumento da quantidade de fósforo no solo diminui significativamente a absorção de zinco.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, F. Interactions of phosphorus with other elements in soils and plants. In: KHASAWNER, F.E., SAMPLE, E.C., KAMPRATH, E.J. (Eds.). The role of phosphorus in agriculture. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.655-680.
- ANDREW, C.S. Legumes and acid soils. In: INTERNATIONAL LATIN AMERICAN SYMPOSIUM, 15. Brasília, 1977. Limitations and



- potentials for biological nitrogen fixation in the tropics. New York, 1978. p.137-157.
- ANDREW, C.S., JONES, R.K. The phosphorus nutrition of tropical forage legumes. In: ANDREW, C.S., KAMPRATH, E.J. (Eds.). Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Melbourne : CSIRO Publishing, 1978. p. 295-311.
- BASURCO, J.C.P., BRUTTI, L.N., PIANTANIDA, N.A. *et al.* Interacción entre fertilización com fosfato diamônico y el proceso simbiótico *Rhizobium meliloti-Medicago sativa*. In: REUNIÃO LATINO-AMERICANA SOBRE *Rhizobium*, 12., Campinas, 1984. Anais... Campinas : ALAR, SBSC, IAC, 1984. p.131-132.
- CASTRO, C. Avaliação agrônômica de termofosfatos magnesianos fundidos, produzidos a partir de minérios oriundos de Maicuru - PA. Belém : Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 1991. 80 f. Tese de Mestrado.
- GALLO, J.R, HIROCE, R., BATAGLIA, O.C. *et al.* Composição química inorgânica de forrageiras do Estado de São Paulo. B.de Indústr. anim., Nova Odessa, v.31, n.1, p.115-137, 1974.
- LÓPEZ GOROSTIAGA, O.E. Contribuição ao estudo das relações entre zinco e o fósforo na nutrição de plantas. Piracicaba : ESALQ, 1972. 44 f. Tese de Doutorado.
- LOUÉ, A. Oligo-éléments en agriculture. Antibes : SCPA/NATHAN, 1993. 577 p.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. Piracicaba: Agrônômica Ceres, 1980. 251 p.
- MALAVOLTA, E., VITTI, G.C., OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas; princípios e aplicações. Piracicaba : Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London : Academic Press, 1995. 889p.
- MENGEL, K, KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition. Bern : International Potash Institute, 1987. 687 p.
- MOREIRA, A., CARVALHO, J.G., EVANGELISTA, A.R. Efeito de doses de enxofre produção e composição mineral da alfafa. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.32, n.5, p.533-538, 1997a.
- MOREIRA, A., CARVALHO, J.G., EVANGELISTA, A.R. *et al.* Efeito de fontes e doses de enxofre nos teores e conteúdo de micronutrientes na alfafa e no trevo branco. B. de Indústr. anim., Nova Odessa, v.54, n.2, p.55-60, 1997b.
- MUNNS, D.N. Soil acidity and nodulation. In: ANDREW, C.S.; KAMPRATH, E.J. (Eds.). Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Melbourne : CSIRO Publishing, 1978. p.247-263.
- PINKERTON, A., SMITH, F.W., LEWIS, D.C. Pasture species. In: REUTER, D.J., ROBINSON, J.B. (Eds.). Plant analysis :an interpretation manual . CSIRO Publishing: 1997. p.285-343.
- PIMENTEL GOMES, F. Curso de Estatística Experimental. Piracicaba : Editora Nobel, 1990. 468 p.
- POSTGATE, J. Fixação do nitrogênio. São Paulo : Editora Pedagógica e Universitária, 1989. 84 p.
- RHYKERD, C.L., OVERDAHL, C.J . Nutrition and fertilizer use. In: HANSON, C.H. (Ed.) .Alfalfa Science and Technology. Madison : American Society of Agronomy. 1972. p.533-569.
- SAEED, M, FOX, R.L. Influence of phosphate fertilization on zinc adsorption by tropical soils. Soil Sci. Soc. of American J., Madison, v.43, n.2, p.683-686, 1979.
- SHARPLEY, A.N., MENZEL, R.G. The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. Adv. in Agron., New York, v.41. p.297-324, 1987.
- VIANDS, D.R., BARNES, D.K., HEICHEL, G.H. Nitrogen fixation in alfalfa; responses to bidirectional selection for associated characteristics. Washington : USDA, 1981. 24 p.
- WERNER, J.C., MATTOS, H.B. Estudos de nutrição da centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.). B. de Indústr. anim., Nova Odessa, v.29, n.2, p.375-391, 1972.