



Níveis críticos de fósforo no solo e na parte aérea no estabelecimento de capim-elefante

Janaina Azevedo Martuscello¹, Dilermando Miranda da Fonseca², Luciano de Melo Moreira³, Rodrigo Froede Ruppin⁴, Daniel de Noronha Figueiredo Vieira da Cunha¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa.

² Departamento de Zootecnia/UFV. Bolsista do CNPq.

³ FEAD-Minas. Belo Horizonte, MG.

⁴ Zootecnista autônomo.

RESUMO - O experimento foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos da forma de aplicação de fósforo, da amostragem do solo e do espaçamento entre linhas de plantio sobre os níveis críticos de fósforo no solo e na planta para o estabelecimento de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Napier. Os tratamentos foram distribuídos em três blocos ao acaso e consistiram de cinco níveis de fósforo (0; 1; 2; 3,3 e 5, correspondentes às doses de 0, 30, 60, 100 e 150 kg/ha de P, na aplicação localizada no fundo do sulco e a 0, 60, 120, 200 e 300 kg/ha de P, na aplicação distribuída no sulco), duas formas de aplicação (localizada e distribuída no sulco) e dois espaçamentos entre linhas de plantio (0,5 e 1,0 m). Os teores de fósforo foram quantificados nas amostras de solo retiradas à profundidade de 0 a 20 cm sobre as linhas de plantas recém-colhidas e entre as linhas de plantio. Nas amostras de forragem colhidas em dois cortes, foram determinadas as concentrações de fósforo e a produção de matéria seca. A produção de matéria seca no maior espaçamento foi bastante inferior à do espaçamento de 0,5 m entre linhas de plantio. No maior espaçamento, maiores níveis críticos foram observados, tanto no solo quanto na planta. O fósforo aplicado localizadamente resultou em maiores valores de nível crítico no solo, enquanto, na parte aérea das plantas, verificou-se o inverso. Os níveis críticos de fósforo na parte aérea diminuíram do primeiro para o segundo corte, independentemente da forma de aplicação, enquanto no solo esse efeito só ocorreu quando o fósforo foi aplicado de forma localizada.

Palavras-chave: amostragem do solo, aplicação de fósforo, espaçamento, localização de fósforo

Critical soil and shoot phosphorus levels for the establishment of elephant grass

ABSTRACT - This experiment was carried out to evaluate the forms of phosphorus application, soil sampling and row spacing on critical levels of phosphorus in the soil and shoot for the establishment of elephant grass cv. Napier. The treatments were arranged in three randomized blocks and consisted of five phosphorus levels (0, 1, 2, 3.3 and 5) corresponding, respectively, to 0, 30, 60, 100 and 150 kg/ha P for application on the bottom of the furrow and to 0, 60, 120, 200 and 300 kg/ha P thoroughly mixed in the furrow, two types of application (localized and distributed in the furrow) and two spacings (0.5 and 1.0 m). The phosphorus content were quantified in soil samples removed at 0-20 cm depth on the rows of the newly cut rows and between the planted rows. In the forage samples harvested in two cuttings, the phosphorus concentration and dry matter production were determined. Dry matter yield in the wider spacing was considerably lower than in the 0.5 m spacing between plating rows. In the wider spacing, greater critical levels were observed in both the soil and the plants. The phosphorus applied in the furrow resulted in greater values of the critical level in the soil, while the opposite was observed in the shoots. Critical phosphorus levels in the shoot of the plants decreased from the first to the second cutting, regardless of the application, whereas in the soil this occurred only when phosphorus was applied on the bottom of the furrow.

Key Words: dry matter, forage, phosphorus application form, spacing

Introdução

Entre as forrageiras utilizadas nos sistemas de produção brasileiros, destaca-se o capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.), que é tradicionalmente utilizado para corte, tanto para silagem quanto para fornecimento no cocho, sobretudo em sistemas semi-intensivos para produção de leite. Independentemente da forma de utilização da forrageira, a fase de estabelecimento deve ser vista com muito cuidado, uma vez que pastos e capineiras bem estabelecidos tendem a ser utilizados por maior período de tempo. Assim, no estabelecimento da forrageira, a adubação fosfatada é importante, pois o fósforo influencia o desenvolvimento do sistema radicular e da parte aérea (Werner, 1986).

Para recomendação de adubação fosfatada, o conhecimento dos níveis críticos de fósforo no solo é fundamental, pois variam com a espécie de planta, o tipo de solo, a sucessão de cortes, o período de incubação e a forma de aplicação do fertilizante, entre outros. Ademais, a maioria dos solos destinados às pastagens apresenta baixo teor de fósforo e elevada capacidade de adsorção desse nutriente, o que realça a necessidade de definição correta e otimizada economicamente das técnicas de fertilização.

Entre os diversos fatores que influenciam os níveis críticos e a recomendação de adubação fosfatada, destaca-se a forma de aplicação do fertilizante no solo, a qual exerce grande efeito na disponibilidade do nutriente às plantas. Assim, quando se aplica o fertilizante no sulco em cova, a planta explora inicialmente a região do solo com alta disponibilidade do nutriente e, à medida que se desenvolve, passa a explorar volume de solo com menor disponibilidade. Nesta condição, a resposta do vegetal pode estar relacionada aos teores de fósforo obtidos nas duas regiões e pode variar também entre culturas (Leite, 1991; Moreira et al, 2006a; 2006b).

Além da fertilização do solo, a produção vegetal é influenciada, entre outros fatores, pelo espaçamento e pela densidade de plantas. Embora existam várias pesquisas com capim-elefante no Brasil e no exterior, poucos estudos abordam a influência do espaçamento entre linhas e entre plantas dentro das linhas, no rendimento forrageiro.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar os efeitos da forma de aplicação de fósforo, do método de amostragem do solo e do espaçamento entre linhas sobre os níveis críticos de fósforo no solo e na planta para estabelecimento do capim-elefante cv. Napier.

Material e Métodos

O trabalho foi conduzido em área pertencente ao Setor de Forragicultura da Universidade Federal de Viçosa. O clima da região é do tipo Cwa, segundo classificação de Köppen (1948), com precipitação pluvial anual em torno de 1.340 mm e período de estiagem entre maio e setembro. As médias anuais das temperaturas máximas e mínimas são de 22,0 e 15,0°C, respectivamente.

Amostras do solo colhidas na camada de 0 a 20 cm de profundidade, antes do plantio do capim-elefante, apresentaram as seguintes características: pH 5,5 (H₂O, 1:2,5); P e K (Mehlich-1) – 0,6 e 16 mg/dm³, respectivamente; Ca, Mg e Al (KCl 1 mol/L) – 1,4; 0,3 e 0,2 cmol_c/dm³, respectivamente; argila, silte, areia fina, areia grossa – 56, 5; 15 e 24%, respectivamente.

Na área experimental, após aração a 20 cm de profundidade, seguida de gradagem, foi aplicado calcário superficialmente com auxílio de implemento mecânico e efetuada uma segunda gradagem. A dose de calcário foi calculada para atingir 70% da saturação por bases (Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1989). Decorridos 30 dias da aplicação do corretivo em toda área experimental, foram abertos sulcos espaçados de 1 m com 20 cm de profundidade utilizando-se sulcadores tracionados por trator. Após o sulcamento, foram alocadas as parcelas (4 × 4 m) e, para o espaçamento 0,5 metro, foram abertos, manualmente, outros quatro sulcos. Distribuiu-se o fertilizante fosfatado nos sulcos e, logo após, em dezembro, efetuado-se o plantio, com mudas de capim-elefante cv. Napier (*Pennisetum purpureum* Schum.).

O experimento consistiu-se num esquema fatorial 2 × 2 × 5, com dois espaçamentos (0,5 e 1,0 m), duas formas de aplicação de fósforo (localizado no sulco e distribuído no sulco de plantio) e cinco níveis de fósforo, em delineamento experimental de blocos ao acaso, com três repetições. Os cinco níveis de fósforo (0; 1; 2; 3,3 e 5) correspondem, respectivamente, às doses de P de 0, 30, 60, 100 e 150 kg/ha, na aplicação localizada no fundo do sulco e doses de P de 0, 60, 120, 200 e 300 kg/ha, na aplicação distribuída dentro do sulco. A dose de fósforo na aplicação localizada no fundo do sulco constituiu metade da dose aplicada de forma não-localizada, em virtude da própria reatividade do fertilizante, havendo necessidade de maior recomendação de fósforo quando o nutriente é aplicado de forma distribuída (Cantarutti et al., 1999). Esta última forma de aplicação de fósforo consistiu na distribuição manual do fertilizante ao longo das paredes do sulco, seguida de leve incorporação com auxílio de enxada, de maneira que toda a área do sulco ficasse em contato com o adubo.

A fonte de fósforo utilizada foi o superfosfato simples. Nitrogênio e potássio foram aplicados em cobertura, nas doses de 200 kg/ha de N (sulfato de amônio) e 167 kg/ha de K (cloreto de potássio) parcelados em três vezes. A primeira parcela da dose referente à adubação nitrogenada e potássica foi aplicada 45 dias após o plantio.

Setenta dias após o plantio, procedeu-se à primeira colheita da parte aérea das plantas de capim-elefante com corte ao nível do solo, numa área útil de 2 m², correspondente a 2 ou 4 metros lineares das linhas de plantas na parte central da parcela, conforme o espaçamento. Posteriormente pesou-se toda a forragem da área útil e retirou-se uma amostra representativa para secagem e determinação dos teores de matéria seca. A mineralização do material vegetal foi feita por digestão nítrico-perclórica, na proporção de 3 mL de HNO₃ : 1 mL de HClO₄, para 0,2 g de matéria seca. No extrato, procedeu-se à dosagem de fósforo, segundo Braga & Defelipo (1974). Depois da colheita da parte aérea das plantas, retiraram-se, utilizando-se trado tipo holandês, 20 amostras de solo por parcela: 10 foram colhidas ao longo das fileiras recém-cortadas e 10 entre as fileiras de plantas, na profundidade de 0 a 20 cm, as quais deram origem a duas amostras compostas por parcela. Avaliaram-se nestas amostras de solo os teores de fósforo disponível pelo extrator Mehlich-1, segundo metodologia proposta por Thomas & Peaslee (1973), modificada por Embrapa (1979), a qual consiste na relação solo:extrator de 1:10, com tempo de agitação de cinco minutos. Após agitação, a suspensão foi deixada em repouso durante 14 horas, quando o extrato foi removido por sucção para determinação colorimétrica do fósforo, segundo Braga & Defelipo (1974).

Aos 75 e 88 dias após o plantio, foram aplicadas, respectivamente, a segunda e terceira parcela das doses referentes à adubação em cobertura com nitrogênio e potássio. Cinquenta dias após o primeiro corte, procedeu-se à segunda colheita das plantas de capim-elefante, seguindo os mesmos procedimentos adotados no primeiro corte.

Equações de regressão foram ajustadas entre os dados de produção de massa seca das plantas e os teores de fósforo disponível, correspondentes às doses de fósforo estudadas, para cada espaçamento e para cada forma de aplicação de fósforo. A partir das equações obtidas, foram estimadas as doses de fósforo necessárias para se atingir 90% da produção máxima. Substituindo-se a dose estimada de fósforo nas equações de regressão obtidas entre fósforo disponível pelo extrator Mehlich-1 e as doses de fósforo aplicadas, determinaram-se os níveis críticos de fósforo no solo para o capim-elefante nos diferentes espaçamentos e nas formas de aplicação de fósforo.

Equações de regressão foram também estabelecidas entre teores de fósforo na massa seca das plantas e os teores de fósforo disponível correspondentes às doses de fósforo estudadas. Com a substituição nessas equações da dose estimada de fósforo, foram estimados os níveis críticos de fósforo na parte aérea das plantas de capim-elefante, nos diferentes espaçamentos e nas modalidades de aplicação de fósforo.

Para obtenção das equações de regressão, utilizaram-se a média dos valores observados nas três repetições para produção de massa seca e os teores de fósforo disponíveis no solo em cada dose de fósforo. Para seleção das equações, foram escolhidos os modelos com coeficiente angular significativo ($P > 0,05$) com os maiores coeficientes de determinação (R^2).

Resultados e Discussão

A produção de matéria seca (MS) de capim-elefante aumentou com as doses de fósforo e variou de acordo com a forma de aplicação do nutriente e espaçamento utilizado em ambos os cortes (Tabela 1). No primeiro corte, a produção de MS do capim-elefante no tratamento PLO,5 no nível zero de adubação pode ser quantificada, em decorrência do baixo acúmulo de forragem. No segundo corte, a produção foi em média 82% superior àquela do primeiro corte e este aumento foi maior no espaçamento de 1,0 m.

A forma de aplicação do fósforo influenciou a produção de matéria seca apenas no espaçamento 0,5 m, no primeiro corte ($P < 0,01$), e foi maior para o fósforo distribuído no sulco de plantio. A ausência de efeito da localização nas demais condições pode ser atribuída às pequenas variações entre as frações de solo fertilizadas nas duas formas de aplicação do nutriente, o que possivelmente proporcionou distribuição semelhante do sistema radicular.

A partir das equações relacionando a produção de MS do capim-elefante com as doses de fósforo aplicadas, estimaram-se os rendimentos de MS correspondente a 90% do máximo (Tabela 2). Nestas condições, as maiores produções foram alcançadas no menor espaçamento e a tendência de maiores valores para o fósforo distribuído no sulco. A produção correspondente a 90% da produção máxima foi aproximadamente 56% maior no segundo corte.

A disponibilidade de fósforo nas parcelas onde o nutriente foi aplicado localizado no sulco não diferiu ($P > 0,05$) daquela onde o fósforo foi aplicado de forma distribuída, embora uma tendência de menores valores tenha sido observada quando o fertilizante foi distribuído em todo o sulco, o que foi verificado após o primeiro e o segundo corte (Tabela 3). Esses menores teores de fósforo observados na

aplicação localizada podem ser explicados pelas menores doses de adubo (metade das doses da aplicação distribuída) e pela forma de amostragem de solo, que foi realizada à profundidade de 0 a 20 cm e distribuídas sobre as fileiras de plantas recém-cortadas, o que provavelmente não coincidiu exatamente com o local de aplicação do fertilizante.

A partir das doses de fósforo recomendadas para a obtenção de 90% da produção máxima e das equações ajustadas entre os teores de fósforo no solo, pelo extrator Mehlich-1 (fósforo disponível), estimaram-se os níveis críticos de fósforo no solo para cada forma de aplicação do nutriente e dentro de cada espaçamento utilizado (Tabela 4). As doses recomendadas para se atingir 90% da produção máxima (estimativa para máxima eficiência econômica), em ambos os cortes, foram muito elevadas, porém com tendência não-significativa de redução nos valores do primeiro para o segundo corte. Essa redução dos níveis críticos no solo com a sucessão de cortes foi confirmada por Santos et al. (2002), que estudaram as gramíneas *Brachiaria decumbens* Stapf. cv. Basilisk e *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça e verificaram redução nos valores dos níveis críticos com a idade das plantas.

Por outro lado, maiores níveis críticos (Tabela 4) foram observados no espaçamento de 1,0 m, como resultado dos mais elevados valores dos coeficientes das equações entre fósforo disponível (Mehlich-1) e doses de fósforo. Isso pode ser atribuído ao fato de que no maior espaçamento as plantas receberam o dobro da quantidade de fósforo por sulco em comparação as do espaçamento 0,5 m. Dessa forma, a comparação entre os níveis críticos obtidos para os

espaçamentos utilizados pode tornar-se comprometida, uma vez que a disponibilidade proporcionada às plantas não foi a mesma entre os espaçamentos. Assim, numa condição de mesma quantidade de adubo por sulco nos dois espaçamentos, espera-se que os níveis críticos no espaçamento 1,0 m sejam menores que no espaçamento 0,5 m, pela menor produção de matéria seca por área, quando os demais fatores (extrator, espécie, tipo de solo, forma de amostragem, forma de aplicação do nutriente, entre outros) forem mantidos constantes.

A forma de aplicação de fósforo não influenciou os níveis críticos de fósforo no solo (Tabela 4). No primeiro corte, os maiores valores foram observados para o fósforo aplicado de forma localizada, enquanto no segundo corte, os maiores valores foram verificados no espaçamento 0,5 m para o fósforo aplicado de forma distribuída no sulco.

Tabela 2 - Matéria seca da parte aérea das plantas de capim-elfante e dose recomendável de fósforo no primeiro e segundo cortes em diversas combinações de localização e espaçamento

Combinação ¹	Primeiro corte	Segundo corte
	Matéria seca (g/m ²)	
PL 0.5	689,2	993,9
PD 0.5	822,3	1115,4
PL 1.0	458,2	784,6
PD 1.0	421,4	836,3
Médias	597,8	932,6

¹ PL; PD: fertilizante fosfatado localizado no fundo do sulco e distribuído e incorporado no sulco, respectivamente.
0,5; 1,0: espaçamento de 0,5 e 1,0 m entre as linhas de plantio, respectivamente.

Tabela 1 - Produção de matéria seca da parte aérea das plantas de capim-elfante no primeiro e no segundo corte, nas diferentes combinações de localização de fósforo e espaçamentos

Combinação ¹	Nível de fósforo					Média 1 ³	Média 2 ⁴
	0	1 ²	2	3,3	5		
	Matéria seca (g/m ²)						
	Primeiro corte						
PL 0.5	221,4	441,0	488,7	534,9	713,4	479,7** ⁵	587,4** ⁶
PD 0.5	299,1	611,4	930,0	767,4	867,0	695,1	
PL 1.0	195,3	261,9	239,7	424,8	411,9	306,9ns	331,4
PD 1.0	144,0	368,7	359,4	447,6	459,0	355,8	
	Segundo corte						
PL 0.5	649,8	1007,7	1026,9	1073,4	915,0	934,5ns	972,9**
PD 0.5	642,9	1100,7	956,4	1091,1	1265,4	1011,3	
PL 1.0	630,2	495,0	645,6	700,2	905,7	675,3ns	698,9
PD 1.0	636,3	586,8	765,0	881,1	742,8	722,4	

¹ PL; PD: fósforo localizado no sulco e distribuído no sulco de plantio, respectivamente.
0,5; 1,0: espaçamento de 0,5 e 1,0 m entre as linhas de plantio, respectivamente.

² Nível 1 correspondente à dose de 30 e 60 kg/ha de P para PL e PD, respectivamente.

³ Média por forma de aplicação e por espaçamento.

⁴ Compara PL vs PD dentro do mesmo espaçamento.

⁵ Média por forma de aplicação.

⁶ Compara espaçamento 0,5 m vs espaçamento 1,0 m.

ns, **: Não-significativo, significativo 1%, respectivamente.

Tabela 3 - Teores de fósforo disponível entre as linhas de plantio após o primeiro e o segundo corte do capim-elefante em diversas combinações de localização e espaçamentos

Combinação ¹	Nível de fósforo					Média 1 ³	Média 2 ⁴
	0	1 ²	2	3,3	5		
Fósforo disponível (mg/dm ³)							
Primeiro corte							
PL 0.5	1,4	1,2	1,3	2,0	1,9	1,6	2,3
PD 0.5	1,1	2,5	3,7	2,8	4,8	3,0* ⁵	n.s. ⁶
PL 1.0	2,4	1,1	0,8	2,1	1,2	1,5	1,7
PD 1.0	1,6	1,6	0,9	1,5	3,7	1,9ns	
Segundo corte							
PL 0.5	2,3	1,9	2,6	2,2	2,9	2,4	2,8
PD 0.5	2,3	2,6	3,3	3,2	3,9	3,1ns	n.s.
PL 1.0	3,7	2,0	2,0	3,3	2,6	2,7	2,6
PD 1.0	2,0	2,5	2,2	2,2	3,2	2,4ns	

¹ PL; PD: fósforo localizado no sulco e distribuído no sulco de plantio, respectivamente.
0,5; 1,0: espaçamento de 0,5 e 1,0 m entre as linhas de plantio, respectivamente.

² Nível 1 correspondente à dose de 30 e 60 kg/ha de P para PL e PD, respectivamente.

³ Média por forma de aplicação e por espaçamento.

⁴ Compara PL vs PD dentro do mesmo espaçamento.

⁵ Média por forma de aplicação.

⁶ Compara espaçamento 0,5 m vs espaçamento 1,0 m.

ns, **: Não-significativo, significativo 1%, respectivamente.

Tabela 4 - Doses recomendáveis de fósforo e níveis críticos de fósforo no solo estimados a partir de amostragem feita sobre as linhas de plantio, no primeiro e no segundo corte

Combinação ¹	Primeiro corte		Segundo corte	
	Dose recomendável (kg/ha)	Nível crítico (mg/dm ³)	Dose recomendável(kg/ha)	Nível crítico (mg/dm ³)
PL 0.5	148,0	40,3	42,8	12,0
PD 0.5	130,4	25,4	170,1	43,5
PL 1.0	181,0	130,3	92,2	66,6
PD 1.0	145,6	57,1	136,6	63,6
Médias	151,3	63,3	110,4	46,4

¹ PL; PD: fertilizante fosfatado localizado no fundo do sulco e distribuído e incorporado no sulco, respectivamente.
0,5; 1,0: espaçamento de 0,5 e 1,0 m entre as linhas de plantio, respectivamente.

O conteúdo de fósforo na parte aérea das plantas de capim-elefante aumentou com as doses aplicadas, enquanto o coeficiente de utilização biológica decresceu de acordo com as formas de aplicação de fósforo e com os espaçamentos utilizados. Esse comportamento foi observado tanto na produção do primeiro corte quanto na do segundo corte (Tabelas 5 e 6).

Considerando que as plantas cultivadas no maior espaçamento tinham mais fósforo à sua disposição, fato que pode ser verificado comparando os conteúdos de fósforo disponíveis no solo entre os dois espaçamentos, esperava-se encontrar maior conteúdo de fósforo na parte aérea dessas plantas, entretanto, isso só ocorreu no primeiro corte ($P < 0,01$).

No primeiro corte a distribuição de fósforo no sulco (PD) resultou em maiores conteúdos na parte aérea, maior

absorção e menores coeficientes de utilização biológica de fósforo em comparação à aplicação localizada no fundo do sulco (PL). Isso se explica, provavelmente, pelo maior volume de raízes em contato com o solo fertilizado e pelos maiores teores de fósforo disponível em comparação aos teores de fósforo quando aplicado localizadamente, promovendo maior absorção. O fato de os coeficientes de utilização biológica de fósforo terem sido maiores nas aplicações localizadas se deve, provavelmente, à presença de fósforo na zona radicular efetiva, o que geralmente resulta em maior eficiência de utilização do nutriente (Fontes, 1987; Randall & Hoefl, 1988). Essas tendências se mantiveram no corte 2, embora sem diferenças significativas ($P > 0,05$).

O teor de fósforo na parte aérea das plantas de capim-elefante tendeu a diminuir do primeiro para o segundo corte,

sobretudo nas parcelas com espaçamento de 1,0 m. Isso pode ser atribuído a um efeito de diluição, visto que a produção foi, em média, 82% maior no corte 2 (Tabela 7). A não-redução nos teores de fósforo na matéria seca proveniente do corte 2 no espaçamento 0,5 m pode estar relacionada à expansão do sistema radicular, que permitiu a exploração de um volume de solo com maior disponibilidade de fósforo, visto que as linhas de plantio onde foi aplicado o adubo estavam muito próximas.

O conteúdo de fósforo absorvido, que é função da concentração de fósforo no tecido e da produção de matéria seca, foi mais elevado no segundo corte. Assim, no segundo corte, a diminuição dos teores foi ocasionada pelo grande aumento na produção de matéria seca (efeito diluição), cujos resultados foram semelhantes aos obtidos por Fonseca et al. (1997). Por outro lado, os coeficientes de utilização biológica de fósforo tenderam a aumentar somente nas parcelas com maior espaçamento, o que pode ser

Tabela 5 - Conteúdo de fósforo na parte aérea das plantas de capim-elefante, no primeiro e no segundo corte, nas combinações de localização de fósforo e espaçamentos

Combinação ¹	Nível de fósforo					Média 1 ³	Média 2 ⁴
	0	1 ²	2	3,3	5		
mg.kg ⁻²							
Primeiro corte							
PL 0.5	244	485	635	695	785	569	738
PD 0.5	299	734	1209	1074	1214	906** ⁵	** ⁶
PL 1.0	293	393	288	595	659	446	536
PD 1.0	216	590	647	850	826	626*	
Segundo corte							
PL 0.5	780	1310	1335	1395	1556	1275	1315
PD 0.5	707	1321	1339	1637	1772	1355ns	**
PL 1.0	737	594	839	910	1177	851	902
PD 1.0	700	704	918	1322	1114	952ns	

¹ PL; PD: fósforo localizado no sulco e distribuído no sulco de plantio, respectivamente. 0,5; 1,0: espaçamento de 0,5 e 1,0 m entre as linhas de plantio, respectivamente.

² Nível 1 correspondente à dose de 30 e 60 kg/ha de P para PL e PD, respectivamente.

³ Média por forma de aplicação e por espaçamento.

⁴ Compara PL vs PD dentro do mesmo espaçamento.

⁵ Média por forma de aplicação.

⁶ Compara espaçamento 0,5 m vs espaçamento 1,0 m.

ns, **: Não-significativo, significativo 1%, respectivamente.

Tabela 6 - Coeficiente de utilização biológica de fósforo na parte aérea das plantas de capim-elefante no primeiro e no segundo corte nas diferentes combinações de localização de fósforo e espaçamentos

Combinação ¹	Nível de fósforo					Média 1 ³	Média 2 ⁴
	0	1 ²	2	3,3	5		
g MS/g fósforo absorvido							
Primeiro corte							
PL 0.5	907	909	770	770	909	853	830
PD 0.5	1000	833	769	715	714	806ns ⁵	** ⁶
PL 1.0	667	666	832	714	625	701	644
PD 1.0	667	625	555	527	556	586*	
Segundo corte							
PL 0.5	833	769	769	769	588	746	757
PD 0.5	909	833	714	667	714	767ns	*
PL 1.0	999	833	769	769	769	828	805
PD 1.0	909	834	833	666	667	782ns	

¹ PL; PD: fósforo localizado no sulco e distribuído no sulco de plantio, respectivamente. 0,5; 1,0: espaçamento de 0,5 e 1,0 m entre as linhas de plantio, respectivamente.

² Nível 1 correspondente à dose de 30 e 60 kg/ha de P para PL e PD, respectivamente.

³ Média por forma de aplicação e por espaçamento.

⁴ Compara PL vs PD dentro do mesmo espaçamento.

⁵ Média por forma de aplicação.

⁶ Compara espaçamento 0,5 m vs espaçamento 1,0 m.

ns, **: Não-significativo, significativo 1%, respectivamente.

Tabela 7 - Teores de fósforo na matéria seca da parte aérea das plantas de capim-elefante, no primeiro e no segundo corte, nas diferentes combinações de localização de fósforo e espaçamentos

Combinação ¹	Nível de fósforo					Média 1 ³	Média 2 ⁴
	0	1 ²	2	3,3	5		
dag/kg (10 g/kg)							
Primeiro corte							
PL 0.5	0,11	0,11	0,13	0,13	0,11	0,12	0,13
PD 0.5	0,10	0,12	0,13	0,14	0,14	0,13 ^{ns5}	** ⁶
PL 1.0	0,15	0,15	0,12	0,14	0,16	0,14	0,16
PD 1.0	0,15	0,16	0,18	0,19	0,18	0,17**	
Segundo corte							
PL 0.5	0,12	0,13	0,13	0,13	0,17	0,14	0,14
PD 0.5	0,11	0,12	0,14	0,15	0,14	0,13 ^{ns}	ns
PL 1.0	0,10	0,12	0,13	0,13	0,13	0,12	0,13
PD 1.0	0,11	0,12	0,12	0,15	0,15	0,13 ^{ns}	

¹ PL; PD: fósforo localizado no sulco e distribuído no sulco de plantio, respectivamente. 0,5; 1,0: espaçamento de 0,5 e 1,0 m entre as linhas de plantio, respectivamente.

² Nível 1 correspondente à dose de 30 e 60 kg/ha de P para PL e PD, respectivamente.

³ Média por forma de aplicação e por espaçamento.

⁴ Compara PL vs PD dentro do mesmo espaçamento.

⁵ Média por forma de aplicação.

⁶ Compara espaçamento 0,5 m vs espaçamento 1,0 m.

ns,**: Não-significativo, significativo 1%, respectivamente.

atribuído ao aumento da produção de 45% em relação ao observado naquelas parcelas com menor espaçamento.

Modelos quadráticos foram ajustados entre os teores de fósforo na parte aérea e doses aplicadas (dados não apresentados). Com a substituição, nessas equações, das doses de fósforo que proporcionaram 90% da produção máxima (Tabela 4), estimaram-se os níveis críticos de fósforo na parte aérea das plantas de capim-elefante (Tabela 8).

O efeito de diluição, que leva a diminuição dos níveis críticos com o aumento da idade das plantas e com a produção de massa seca, só foi verificado no maior espaçamento, independentemente da forma de aplicação do fósforo. Parece que o fato de as linhas de plantio estarem muito próximas no menor espaçamento, permitindo

às raízes absorver maiores quantidades de fósforo no solo, evitou a diminuição da constante da cinética de absorção de fósforo (Km) e, segundo Tynker (1980), citado por Fonseca et al. (2000), essa pode ser uma das causas da queda dos níveis críticos com a sucessão de cortes das plantas. Os teores de fósforo na parte aérea foram influenciados por vários fatores e isso, sem dúvida, leva a grandes variações nos níveis críticos na parte aérea das plantas, até mesmo quando considerado mesmo cultivar. Assim, o conhecimento desses fatores e a melhor caracterização das formas de fósforo na planta, como o fósforo inorgânico e o fósforo orgânico solúvel, parecem interessante num estudo de avaliação do perfil nutricional da planta com relação a este nutriente.

Conclusões

Os níveis críticos de fósforo no solo para o estabelecimento do capim-elefante foram maiores quando o fósforo foi aplicado localizadamente, enquanto na parte aérea os maiores valores foram observados com a aplicação do nutriente na forma distribuída. Os níveis críticos de fósforo no solo e na parte aérea no espaçamento de 1,0 m entre linhas de plantio foram maiores que aqueles do espaçamento 0,5 m e com a mesma tendência para os níveis críticos na parte aérea. Os teores de fósforo no solo obtidos com a amostragem feita exclusivamente na linha de plantio relacionaram-se melhor com a produção de matéria seca.

Tabela 8 - Níveis críticos de fósforo na parte aérea das plantas de capim-elefante nas condições de 90% da produção máxima, no primeiro e no segundo corte, nas diferentes combinações de localização de fósforo e espaçamentos

Combinação	Primeiro corte	Segundo corte
	dag/kg de P na MS (10 g de P/kg de MS)	
PL 0.5	0,117	0,121
PD 0.5	0,131	0,146
PL 1.0	0,145	0,134
PD 1.0	0,177	0,123
Médias	0,143	0,131

¹ PL; PD: fertilizante fosfatado localizado no fundo do sulco e distribuído e incorporado no sulco, respectivamente. 0,5; 1,0: espaçamento de 0,5 e 1,0 m entre as linhas de plantio, respectivamente.

Literatura Citada

- BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotometria do fósforo em extrato de solos e plantas. **Revista Ceres**, v.21, p.73-85, 1974.
- CANTARUTTI, R.B.; MARTINS, C.E.; CARVALHO, M.M. et al. Pastagens. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds.) **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5ª Aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p.332-341.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio de Janeiro: 1979. 83p.
- FONSECA, D.M.; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ, V.V.H. et al. Absorção, utilização e níveis críticos internos de fósforo e perfilhamento em *Andropogon gayanus* e *Panicum maximum*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.6, p.1918-1929, 2000.
- FONSECA, D.M.; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ, V.V.H. et al. Fatores que influenciam os níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras: II Em campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.21, n.1, p.35-40, 1997.
- FONTES, P.C.R. Distribuição de fósforo no solo afetando o desenvolvimento e absorção de fósforo pelo tomateiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.22, p.367-72, 1987.
- KÖPPEN, W. **Climatologia**. Tradução Pedro R.H. Perez. Buenos Aires: Panamericana, 1948. 478p.
- LEITE, P.B. **Níveis críticos de fósforo para milho e eucalipto, em função da sua localização no solo, em vasos**. 1991. 107f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1991.
- MOREIRA, L.M.; FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. et al. Adubação fosfatada e níveis críticos de fósforo no solo para manutenção da produtividade do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.22-39, 2006a.
- MOREIRA, L.M.; FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. Absorção e níveis críticos de fósforo na parte aérea para manutenção da produtividade do capim-elefante. **Ciência e Agrotecnologia**, v.30, n.6, p.1170-1176. 2006b.
- RANDALL, G.W.; HOEFT, R.G. Placement methods for improved efficiency of P and K fertilizers: A review. **Journal Production Agriculture** v.1, p.70-79, 1988.
- SANTOS, H.Q.; FONSECA, D.M.; CANTARUTTI, R.B. et al. Níveis críticos de fósforo no solo e na planta para gramíneas forrageiras tropicais, em diferentes idades. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.173-182, 2002.
- THOMAS, G.W.; PEASLEE, D.E. Testing soils for phosphorus. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Eds.) Soil testing and Plant Analysis. **Soil Science Society American**, p.115-29, 1973.
- WERNER, J.C. **Adubação de pastagens**. 2.impr. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. 49p.