

# NÍVEIS CRÍTICOS DE FÓSFORO NO SOLO E NA PLANTA PARA GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS TROPICAIS, EM DIFERENTES IDADES<sup>(1)</sup>

H. Q. SANTOS<sup>(2)</sup>, D. M. FONSECA<sup>(3)</sup>, R. B. CANTARUTTI<sup>(4)</sup>,

V. H. ALVAREZ V.<sup>(4)</sup> & D. NASCIMENTO JÚNIOR<sup>(3)</sup>

## RESUMO

Dois experimentos foram realizados simultaneamente, em casa de vegetação, para avaliar os efeitos da idade das plantas e de períodos de rebrotação sobre os valores dos níveis críticos de fósforo no solo e na planta para duas gramíneas forrageiras tropicais. Os tratamentos corresponderam aos arranjos fatoriais 2 x 5 x 5, no estudo de crescimento inicial, e 2 x 2 x 5, no estudo de rebrotação. Os fatoriais consistiram de duas espécies (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Panicum maximum* cv. Mombaça); cinco idades (14, 28, 42, 56 e 70 dias após a emergência), durante o crescimento inicial e em dois períodos do estudo da rebrotação (28 e 42 dias) após um crescimento inicial de 42 dias, e cinco doses de fósforo (0, 64, 128, 320 e 640 mg dm<sup>-3</sup>). Os tratamentos, com três repetições, foram distribuídos em blocos ao acaso. Nos ensaios, utilizou-se amostra de Latossolo Vermelho-Amarelo. Para determinação dos teores de fósforo disponível no solo, foi utilizado o extrator Mehlich-1. Os níveis críticos (NiCrí) de fósforo no solo para *B. decumbens* foram maiores do que para *P. maximum*. Os NiCrí no solo decresceram exponencialmente com a idade das plantas de 95,1 e 75,6 mg dm<sup>-3</sup>, aos 14 dias, para 38,1 e 28,4 mg dm<sup>-3</sup>, aos 70 dias, com relação a *B. decumbens* e *P. maximum*, respectivamente. Na fase de rebrotação, os NiCrí no solo foram semelhantes nos dois períodos, com valores próximos aos estimados para as plantas aos 70 dias. Os NiCrí de fósforo na parte aérea das plantas decresceram exponencialmente de 0,57 e 0,60 dag kg<sup>-1</sup>, aos 14 dias, para 0,08 e 0,07 dag kg<sup>-1</sup>, aos 70 dias, com relação a *B. decumbens* e *P. maximum*, respectivamente. *B. decumbens* apresentou maiores valores de NiCrí de fósforo na parte aérea das plantas, exceto na idade de 14 dias. Na fase de rebrotação, os NiCrí na parte

<sup>(1)</sup> Parte da Tese de Mestrado do primeiro autor, apresentada ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa – UFV. Recebido para publicação em abril de 2001 e aprovado em setembro de 2001.

<sup>(2)</sup> Doutorando em Solos e Nutrição de Plantas do Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa – UFV. Av. P.H. Rolfs, s/n, CEP 36571-000 Viçosa (MG). Bolsista do CNPq. E-mail: hquardos@pobox.com

<sup>(3)</sup> Professor do Departamento de Zootecnia, UFV. Av. P.H. Rolfs s/n, CEP 36571-000 Viçosa (MG). Bolsistas do CNPq. E-mails: dfonseca@mail.ufv.br; domicilio.nascimento.jr@ufv.br

<sup>(4)</sup> Professor do Departamento de Solos, UFV. Bolsistas do CNPq. E-mails: cantarutti@solos.ufv.br; vhav@mail.ufv.br

**aérea foram maiores aos 28 dias, diminuindo, aos 42 dias, para valores similares aos estimados nas idades de 56 e 70 dias, no crescimento inicial. Assim, para avaliação criteriosa do estado nutricional da planta em termos de fósforo e recomendação de fertilização, recomenda-se considerar a idade das plantas após o plantio da forrageira e a cada ciclo de crescimento.**

**Termos para indexação: *Panicum maximum*, *Brachiaria decumbens*, Mombaça, pastagem.**

**SUMMARY: SOIL AND PLANT PHOSPHORUS CRITICAL LEVELS FOR TROPICAL FORAGE GRASSES AT DIFFERENT AGES**

*Two experiments were carried out simultaneously in a greenhouse to evaluate the effects of plant age and regrowth periods on soil and plant phosphorus critical levels for two tropical forage grasses. Treatments corresponded to the 2 x 5 x 5 factorial arrangement in the initial growth study, and the 2 x 2 x 5 factorial in the regrowth study. Those factorials consisted of two species (*Brachiaria decumbens* cv. *Basilisk* and *Panicum maximum* cv. *Mombaça*); five plant ages (14, 28, 42, 56, and 70 days after emergence) in the initial growth and during two periods of regrowth (28 and 42 days) after an initial growth of 42 days; and five doses of phosphorus (0, 64, 128, 320, and 640 mg dm<sup>-3</sup>). Treatments were distributed in a randomized block design with three replications. A Red-Yellow Latosol sample was used. Mehlich-1 extractant was used to determine soil phosphorus availability. Soil phosphorus critical levels were greater for *B. decumbens* than for *P. maximum*. Soil phosphorus critical levels decreased exponentially with plant ages from 95.1 and 75.6 mg dm<sup>-3</sup>, at 14 days and to 38.1 and 28.4 mg dm<sup>-3</sup> at 70 days, for *B. decumbens* and *P. maximum*, respectively. Soil phosphorus critical levels were similar in both regrowth periods with values close to those estimated for 70 day old plants. Phosphorus critical levels in plant shoot decreased exponentially with plant age from 0.57 and 0.60 dag kg<sup>-1</sup>, at 14 days, to 0.08 and 0.07 dag kg<sup>-1</sup>, at 70 days, for *B. decumbens* and *P. maximum*, respectively. *B. decumbens* had greater values of plant phosphorus critical levels except for 14-day-old plants. In the regrowth experiment, the phosphorus critical levels, in the shoots were greater for 28-day-old plants, but for 42-day-old plants the critical levels decreased to similar values of those estimated at 56 and 70 days after emergence, in the initial growth experiment. Therefore, it is necessary to evaluate plant age after its establishment and at each growing cycle to determine its nutritional status and to recommend phosphorus fertilization.*

*Index terms: Panicum maximum, Brachiaria decumbens, Mombaça, forages.*

## INTRODUÇÃO

No Brasil, a produção pecuária é predominantemente extensiva e sobre pastagens nativas ou cultivadas. Os índices zootécnicos da pecuária brasileira são baixos em razão, dentre outros fatores, da baixa qualidade e, principalmente, da pequena capacidade de suporte das pastagens. A baixa produtividade das forrageiras, ou a sua diminuição com o passar dos anos após o estabelecimento em solos tropicais, tem como causas principais: (a) a elevada acidez do solo (pH < 5,0), a toxidez de alumínio e manganês e a baixa disponibilidade de nutrientes, principalmente de fósforo e de nitrogênio (Rao et al., 1995); (b) o caráter extrativista com que se pratica a pecuária, ignorando-se a retirada de nutrientes do solo via produção animal (Zimmer e

Correa, 1993), e (c) o inadequado manejo das pastagens (Macedo, 1995).

O fósforo desempenha papel importante no crescimento do sistema radicular, bem como no perfilhamento das gramíneas, que são fundamentais à maior produtividade das forrageiras. Embora o fósforo seja, de acordo com Holford (1997), o segundo nutriente essencial mais limitante à produção agrícola, depois do nitrogênio, nos solos tropicais, a "construção" da fertilidade do solo em fósforo torna-se particularmente importante, uma vez que esses solos apresentam baixa disponibilidade natural e alta capacidade de adsorção e de fixação desse nutriente. Somado a esses fatos, a absorção, assimilação e translocação de nitrogênio nas plantas podem ser restringidas pela deficiência de fósforo (Gniazdowska et al., 1999).

Essas considerações evidenciam que a adubação fosfatada é imprescindível à implantação e manutenção das forrageiras; no entanto, requer-se o estabelecimento de critérios mais exatos para sua recomendação, visando a uma maior eficiência econômica da pecuária. A determinação dos níveis críticos de fósforo no solo e na planta é necessária para o estabelecimento das doses de fósforo a serem aplicadas e a avaliação do estado nutricional das plantas. Esses níveis críticos variam com as espécies, condições edafoclimáticas (temperatura, luminosidade, disponibilidade hídrica, tipo de solo), disponibilidade de outros nutrientes, manejo da adubação (forma, tipo e época de aplicação de fertilizantes), forma de amostragem do solo e idade da planta (Bates, 1971; Alvarez V., 1996).

Os níveis críticos de fósforo no solo e na planta diminuem com a idade das plantas (Novais et al., 1982), sendo a variação mais acentuada nas plantas perenes, como é o caso da maioria das forrageiras. Assim, torna-se essencial estabelecer os níveis críticos de fósforo para cada um dos estádios de crescimento das plantas. Esse conhecimento tanto é imprescindível ao manejo da adubação, seja no plantio ou na manutenção, com vistas em suprir, dessa forma, a demanda das plantas ao longo do seu ciclo e favorecer a sustentabilidade da produção.

Com o presente trabalho, objetivou-se estabelecer os níveis críticos de fósforo no solo e na planta conforme a idade das plantas, no caso de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk e *Panicum maximum* cv. Mombaça, cultivadas em um Latossolo Vermelho-Amarelo.

## MATERIAL E MÉTODOS

Amostra de um Latossolo Vermelho-Amarelo textura argilosa (49% de argila e 13% de silte) foi coletada da camada de 0-20 cm, seca ao ar e passada em peneira com malha de 4 mm de abertura. A análise química indicou pH em água 5,2 e teores de P e K em Mehlich-1 de 2,5 e 35 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente. O valor do P-remanescente<sup>(5)</sup> foi de 15,5 mg L<sup>-1</sup>. A saturação por bases do solo era de 38%. O trabalho constituiu-se de dois experimentos, realizados simultaneamente em casa de vegetação, em Viçosa (MG), no período de 6 de novembro de 1997 a 9 de abril de 1998.

### Experimento 1 – “crescimento inicial”

Neste experimento, os tratamentos consistiram da combinação fatorial entre as duas espécies

forrageiras (*Brachiaria decumbens* Stapf. cv. Basilisk - BRA 001058 e *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça - BRA 006645), cinco idades de crescimento (14, 28, 42, 56 e 70 dias após a emergência) e cinco doses de fósforo (0, 64, 128, 320 e 640 mg dm<sup>-3</sup> de fósforo), que foram determinadas com base no valor do P-remanescente do solo (Alvarez V. & Fonseca, 1990). Os tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso, com três repetições.

O volume de 5,5 dm<sup>3</sup> de solo de cada uma das unidades experimentais recebeu a dose de calcário dolomítico (PRNT = 100,1%) necessária para elevar a saturação por bases para 50%, sendo acondicionado em vasos plásticos e permanecendo incubado por 30 dias com a umidade do solo mantida em 70% da capacidade de campo. Em seguida, as doses de fósforo foram aplicadas como superfosfato triplo (41% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em citrato neutro de amônio + água) triturado e com granulometria inferior a 0,25 mm, sendo homogeneizado com o solo das unidades experimentais. Seguiu-se novo período de 30 dias de incubação, mantendo-se a umidade do solo, como indicado anteriormente.

Decorrido esse período, oito plântulas germinadas e crescidas por cinco dias em leito de areia foram transplantadas para cada unidade experimental. Esse número de plantas foi mantido até o corte de avaliação 14 dias após a emergência, quando foi feito o desbaste, deixando-se quatro plantas por unidade experimental. Durante o período de crescimento das plantas, a umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo, por meio de irrigações diárias.

As plantas receberam adubação com potássio, nitrogênio e enxofre por meio de soluções à base de KNO<sub>3</sub>, (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KCl e CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>, aplicadas semanalmente. Desse modo, nos tratamentos correspondentes ao maior período de crescimento (70 dias), foram aplicados 290 mg dm<sup>-3</sup> de N, 270 mg dm<sup>-3</sup> de K e 70 mg dm<sup>-3</sup> de S. Nos demais tratamentos, com menores períodos de crescimento, as plantas receberam, proporcionalmente, menores doses de N, K e S.

Ao final dos respectivos períodos de crescimento, as plantas foram cortadas aproximadamente a 3 cm do solo, e subdividiu-se a parte aérea nas frações: folha emergente (limbos das folhas não completamente expandidas, ou seja, sem lígula visível), folha recém-expandida (limbos das duas folhas recém-expandidas), folha adulta (limbos das demais folhas completamente expandidas) e colmo (colmo + bainhas das folhas).

As plantas com a idade de 14 dias de crescimento e sem aplicação de fósforo não foram subdivididas em partes, ao passo que as plantas que receberam as doses de fósforo foram divididas em apenas folhas recém-expandidas e colmo, em razão de seu pouco crescimento. Pelo mesmo motivo, as plantas com idade de 28 dias e sem aplicação de fósforo também

<sup>(5)</sup> Fósforo remanescente (P-remanescente) é a concentração de fósforo da solução de equilíbrio, após agitar, durante uma hora, 5 cm<sup>3</sup> de TFSA com 50 mL de solução de CaCl<sub>2</sub> 10 mmol L<sup>-1</sup>, com 60 mg L<sup>-1</sup> de fósforo (Alvarez V. et al., 2000).

não foram subdivididas. Determinou-se o peso da matéria seca (70°C) de cada uma das frações das plantas. Nos tratamentos em que foram colhidas oito plantas, a produção de matéria seca foi corrigida para quatro plantas por unidade experimental.

Todo o material vegetal foi moído em moinho com peneira com abertura de 1 mm e submetido à mineralização nítrico-perclórica, para dosagem colorimétrica do fósforo (Braga & Defelipo, 1974). O teor de P na planta inteira foi obtido por meio de média ponderada entre os teores de fósforo e o peso das frações das plantas.

Antes do transplântio das plântulas, foi feita uma amostragem do solo em cada unidade experimental, para determinação dos teores de fósforo pelo extrator Mehlich-1 (Defelipo & Ribeiro, 1981).

Os resultados foram submetidos às análises de variância e de regressão. A cada idade de crescimento das plantas, foram ajustadas equações de regressão, para produção de matéria seca de acordo com as doses de fósforo. A partir dessas equações, estimaram-se as doses necessárias para obtenção de 90% da produção máxima. Do mesmo modo, estabeleceram-se as regressões para os teores de fósforo na parte aérea de acordo com as doses de fósforo. A recuperação de fósforo pelo extrator Mehlich-1 foi obtida por meio da regressão ajustada entre os teores de fósforo extraídos e as doses de fósforo.

Com base nas doses de fósforo associadas a 90% da produção máxima e nas regressões que relacionam os teores de fósforo no solo recuperado pelo extrator Mehlich-1 e na parte aérea das plantas, estimaram-se os níveis críticos de fósforo no solo e na planta, respectivamente.

### Experimento 2 – “rebrotação”

Neste experimento, realizado simultaneamente com o experimento 1, os tratamentos corresponderam à combinação fatorial entre as duas espécies: as duas idades de rebrotação (28 e 42 dias) de plantas cortadas a 3 cm do solo, após período inicial de crescimento de 42 dias, e as cinco doses de fósforo aplicadas como foi descrito anteriormente. Os tratamentos foram distribuídos em blocos ao acaso, com três repetições.

As adubações com potássio, nitrogênio e enxofre foram efetuadas a partir do transplântio das plântulas, por meio de aplicações semanais de solução à base de fontes descritas anteriormente, totalizando-se 290 mg dm<sup>-3</sup> de N, 270 mg dm<sup>-3</sup> de K e 70 mg dm<sup>-3</sup> de S, na idade de rebrotação de 28 dias. Na idade de rebrotação de 42 dias, as plantas receberam maiores doses de N e K, correspondendo a 310 e 350 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente.

Os demais procedimentos adotados neste experimento foram iguais aos descritos para o experimento de crescimento inicial.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Produção de matéria seca da parte aérea das plantas

Com exceção da *B. decumbens* na idade de 14 dias, a equação quadrática base raiz quadrada foi a que melhor explicou a variação na produção de matéria seca conforme a aplicação das doses de fósforo (Quadro 1). A partir dessas equações, estimaram-se os 90% dos rendimentos de matéria seca máximos - o que, em trabalhos de casa de vegetação, corresponde às produções de máxima eficiência econômica (MEE) (Alvarez V., 1996) - e às doses de fósforo associadas a esses rendimentos (Quadro 2).

As estimativas (Quadro 2) evidenciaram que a produção de matéria seca de *B. decumbens* foi, em média, maior tanto no crescimento inicial quanto na rebrotação. Esses resultados deveriam-se, essencialmente, à maior produção de *B. decumbens* verificada nos períodos mais avançados de avaliação em ambos os experimentos. Embora ratifiquem a tendência verificada por Rao et al. (1995), que trabalharam com sete gramíneas forrageiras em dois níveis de fertilidade, esses resultados não eram esperados, uma vez que a espécie *P. maximum* mostrou maior capacidade de produção de biomassa do que a espécie *B. decumbens* (Corsi & Santos, 1995; Leite & Euclides, 1994). Durante os experimentos, verificou-se que as duas gramíneas apresentaram sintomas visuais de deficiência de nitrogênio e de potássio, apesar da aplicação semanal desses nutrientes, ressaltando que as plantas de *P. maximum* expressaram deficiência mais cedo e com maior severidade. Assim, a maior produção de *B. decumbens* pode ter sido devida à menor exigência e, ou, à maior eficiência nutricional desses nutrientes.

Com relação ao crescimento inicial, verificou-se que as doses de fósforo necessárias para 90% da produção máxima de *P. maximum* foram menores, mesmo aos 14 e 28 dias, quando esta espécie teve maior produção (Quadro 2). Embora aos 28 dias de idade a produção de *B. decumbens* tenha sido 20% inferior à de *P. maximum*, a dose de fósforo requerida para MEE foi 38% maior. Até os 28 dias de crescimento, *P. maximum* mostrou maior eficiência de aquisição e, ou, de utilização de fósforo. Aos 28 dias de rebrotação, essa espécie também produziu mais que a *B. decumbens*, embora as doses de fósforo associadas à MEE tenham sido praticamente iguais, o que contribui para confirmar a maior eficiência nutricional de *P. maximum* quanto ao fósforo em estágio inicial de crescimento.

### Fósforo recuperado pelo extrator Mehlich-1

Obtiveram-se maiores taxas de recuperação do fósforo pelo extrator Mehlich-1 com o aumento das doses aplicadas, sendo o modelo quadrático o que melhor se ajustou aos dados (Figura 1).



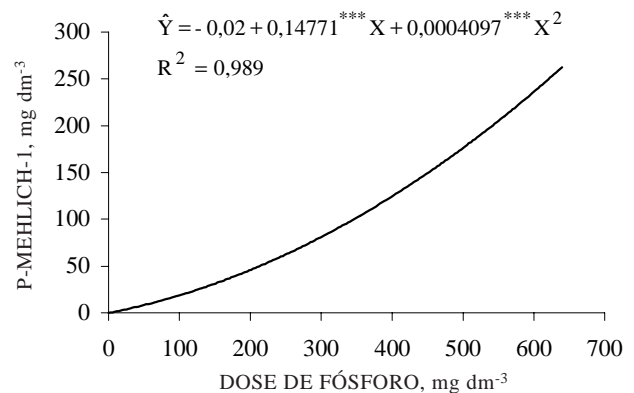
**Quadro 1. Equações de regressão da produção de matéria seca (Y = g/vaso) de plantas de *B. decumbens* e *P. maximum*, considerando as doses de fósforo (X = mg dm<sup>-3</sup>), e respectivos coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) em diferentes idades de crescimento inicial e de rebrotação**

Idade	Equação	R <sup>2</sup>
<b>dia</b>		
<b>Crescimento inicial</b>		
<i>Brachiaria decumbens</i>		
14	$\hat{Y} = 0,15 + 0,00578^{***}X - 0,0000056^{***}X^2$	0,924
28	$\hat{Y} = -0,63 + 2,78907^{***}\sqrt{X} - 0,0619091^{**}X$	0,964
42	$\hat{Y} = -0,11 + 7,70041^{***}\sqrt{X} - 0,178493^{***}X$	0,961
56	$\hat{Y} = 4,94 + 13,0588^{***}\sqrt{X} - 0,317585^{***}X$	0,980
70	$\hat{Y} = 13,46 + 17,0584^{***}\sqrt{X} - 0,430917^{***}X$	0,970
<i>Panicum maximum</i>		
14	$\hat{Y} = -0,03 + 0,222947^{***}\sqrt{X} - 0,00423128^{***}X$	0,906
28	$\hat{Y} = 1,12 + 3,91473^{***}\sqrt{X} - 0,101430^{***}X$	0,939
42	$\hat{Y} = 4,26 + 7,53169^{***}\sqrt{X} - 0,200157^{***}X$	0,895
56	$\hat{Y} = 8,30 + 12,1493^{***}\sqrt{X} - 0,323643^{***}X$	0,952
70	$\hat{Y} = 13,77 + 15,7769^{***}\sqrt{X} - 0,419507^{***}X$	0,959
<b>Rebrotação</b>		
<i>Brachiaria decumbens</i>		
28	$\hat{Y} = 5,79 + 2,17206^{***}\sqrt{X} - 0,0541767^{***}X$	0,921
42	$\hat{Y} = 11,59 + 5,89267^{***}\sqrt{X} - 0,145721^{***}X$	0,960
<i>Panicum maximum</i>		
28	$\hat{Y} = 6,30 + 2,5996^{***}\sqrt{X} - 0,0652145^{***}X$	0,920
42	$\hat{Y} = 12,62 + 5,1978^{***}\sqrt{X} - 0,142928^{***}X$	0,936

\*\*\* e \*\* Significativos a 0,1 e 1%, respectivamente.

**Quadro 2. Produção de matéria seca da parte aérea de *B. decumbens* e de *P. maximum*, correspondente a 90% da produção máxima, e a respectiva dose de fósforo necessária para obtê-la nas diferentes idades de crescimento inicial e de rebrotação**

Idade	Matéria seca	Dose de fósforo
dia	g/vaso	mg dm <sup>-3</sup>
<b>Crescimento inicial</b>		
<i>Brachiaria decumbens</i>		
14	1,5	344,6
28	27,7	239,4
42	74,6	217,7
56	125,3	194,3
70	164,0	176,6
<i>Panicum maximum</i>		
14	2,6	326,1
28	35,0	171,8
42	67,6	161,0
56	110,1	159,3
70	145,9	158,4
<b>Rebrotação</b>		
<i>Brachiaria decumbens</i>		
28	24,8	166,7
42	64,0	175,0
<i>Panicum maximum</i>		
28	29,0	166,5
42	53,9	137,1

**Figura 1. Variação dos teores de fósforo recuperados pelo extrator Mehlich-1, conforme as doses de fósforo aplicadas (\*\*\*) significativo a 0,1%).**

### Níveis críticos de fósforo no solo

A variação dos níveis críticos (NiCrí) de fósforo no solo conforme a idade das plantas das duas espécies, durante os períodos de crescimento inicial e de rebrotação, é representada na figura 2. Tanto para o crescimento inicial quanto para a rebrotação, os valores estimados de NiCrí de fósforo no solo

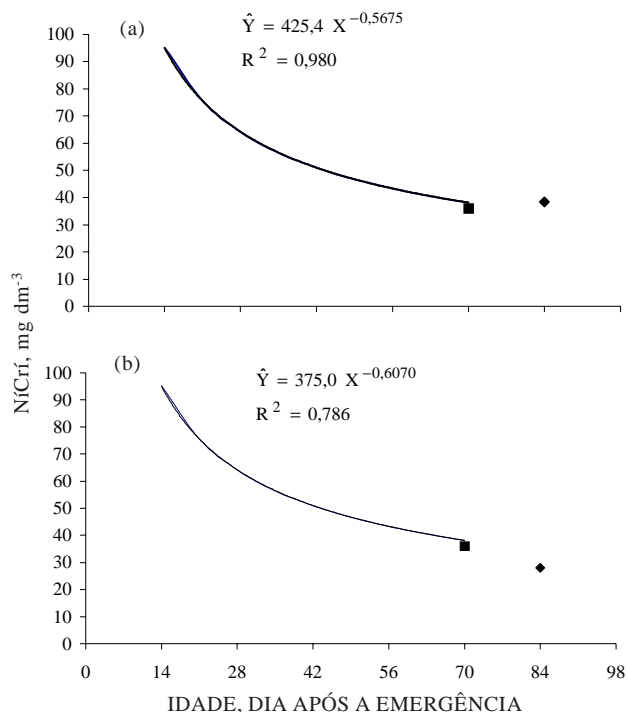
foram maiores em *B. decumbens* (Figura 2), apesar de ser a espécie *P. maximum* mais exigente (Sanchez & Salinas, 1981). Diferenças de NiCrí entre espécies já eram esperadas, por refletirem as características da espécie quanto à exigência nutricional e às eficiências de aquisição e de utilização de fósforo e outros nutrientes (Neves, 1983).

Considerando que a resposta das plantas às doses de um nutriente depende também da ação e interação de outros fatores, como os demais nutrientes (Alvarez V., 1996), as deficiências de N e de K verificadas em *P. maximum* podem ter contribuído para a menor produção desta gramínea e, conseqüentemente, subestimado a dose de fósforo para atingir a produção de MEE e dos NiCrí no solo.

Os NiCrí de fósforo diminuíram exponencialmente com a idade das plantas, ajustando-se a uma regressão potencial (Figura 2), tendência também relatada por Novais et al. (1982) em eucalipto. Na idade de 14 dias na fase de crescimento inicial, estimaram-se valores de NiCrí de fósforo de 95 e 76 mg dm<sup>-3</sup> para *B. decumbens* e *P. maximum*, respectivamente. Esses valores foram elevados, se comparados àqueles estimados para gramíneas forrageiras, tanto em condições de casa de vegetação quanto de campo (Fonseca et al., 1988; Guss et al., 1990; Corrêa & Haag, 1993; Fonseca et al., 1997). No entanto, aos 28 dias, os valores de NiCrí foram, em média, 33% menores para as duas espécies. A partir dessas idades, as quedas nos valores dos NiCrí foram menores, tendendo a estabilizar a partir dos 42 dias de crescimento.

Na fase de rebrotação, mesmo com o corte drástico realizado e com a remoção de praticamente todo o fósforo acumulado na parte aérea das plantas, os NiCrí apresentaram valores próximos aos estimados a partir dos 42 dias de crescimento inicial (Figura 2), evidenciando pequena variação entre as duas idades de rebrotação, o que reforça a tendência de estabilização dos NiCrí com o avanço da idade das plantas.

A diminuição dos valores de NiCrí de fósforo no solo, com o envelhecimento das plantas ou com a sucessão de cortes, tem sido observada por outros autores em eucalipto (Novais et al., 1982), em gramíneas (Barrow, 1975; Fonseca et al., 1988; Guss et al., 1990) e em leguminosas forrageiras (Rivas Y., 1997). Essa tendência tem sido atribuída a três fatores: (a) às alterações na cinética de absorção desse nutriente (Jungk & Barber, 1975; Edwards & Barber, 1976), principalmente quanto à diminuição da constante cinética de absorção  $C_{\min}$ ; (b) às associações das raízes com fungos micorrízicos (Urquiaga et al., 1998), e (c) ao aumento do sistema radicular (Schachtman et al., 1998; Barber, 1980), sendo esses dois últimos fatores considerados os mais importantes, por ser a difusão do fósforo até às raízes mais limitante do que a capacidade de absorção destas (Schachtman et al., 1998; Barber, 1980).



**Figura 2. Variação dos níveis críticos de fósforo extraídos por Mehlich-1, de acordo com a idade das plantas de *B. decumbens* (a) e de *P. maximum* (b). Os pontos correspondem aos valores de rebrotação de 28 (■) e 42 (◆) dias após 42 dias de crescimento inicial.**

A taxa específica de absorção de fósforo (TEAF) (g de P/g de MS de raízes/dia) do azevém, segundo Barrow (1975), elevou-se, rapidamente, dos 9 aos 15 dias após a emergência das plantas, atingindo o valor máximo e, então, diminuindo lentamente até os 33 dias. Considerando o comportamento da TEAF, pressupôs-se, inicialmente, que os NiCrí de fósforo fossem elevados para atender à alta demanda metabólica das plantas na fase inicial de desenvolvimento (Marschner, 1995), quando a capacidade de aquisição de fósforo era limitada por causa do pequeno sistema radicular. Posteriormente, com o aumento da eficiência dos mecanismos de absorção (aumento da TEAF) e do crescimento radicular, percebeu-se rápida queda nos níveis críticos, sem comprometer o suprimento de fósforo. Os NiCrí diminuíram ainda mais e tenderam a uma estabilidade com a idade das plantas, visto que a demanda metabólica caiu e o volume explorado pelo sistema radicular cresceu, compensando, assim, a queda nos valores das TEAF.

### Teores de fósforo na parte aérea das plantas

A idade da planta e a disponibilidade do fósforo no solo são os fatores que mais influenciam os teores desse nutriente nas plantas (Bates, 1971; Marschner, 1995). Constatou-se que os teores de fósforo nos

constituintes da parte aérea das duas espécies, tanto no crescimento inicial quanto na rebrotação, diminuíram com a idade das plantas e aumentaram com as doses de fósforo (dados não apresentados). A diminuição nos teores de fósforo com o envelhecimento das plantas resultou da diluição do teor de fósforo decorrente do acréscimo da proporção de tecido estrutural e de reserva (Marschner, 1995).

Com o desenvolvimento da planta, em geral, os menores teores de fósforo no limbo de folhas de mesma idade fisiológica relacionam-se, segundo Wilson (1976ab), com o aumento da lignificação, da proporção de esclerênquima e de tecidos vasculares e com a diminuição do tamanho médio do mesófilo em folhas de mesma idade fisiológica, porém em níveis mais elevados de inserção no perfilho. Graças a redução dos teores de fósforo com a idade em todas as frações da parte aérea, decidiu-se por ajustar equações de regressão entre os teores de fósforo na parte aérea como um todo, conforme as doses de fósforo (Quadro 3).

**Quadro 3. Equações de regressão de teores de fósforo na parte aérea ( $Y = \text{dag kg}^{-1}$ ) de plantas de *B. decumbens* e de *P. maximum*, considerando as doses de fósforo ( $X = \text{mg dm}^{-3}$ ), e respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) em diferentes idades de crescimento e de rebrotação**

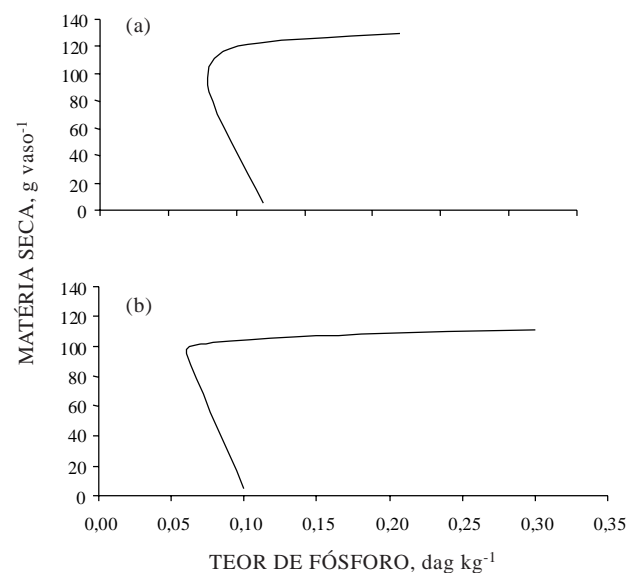
Idade	Equação	$R^2$
dia		
Crescimento inicial:		
<i>Brachiaria decumbens</i>		
14	$\hat{Y} = 0,07 + 0,03210 \sqrt{X} - 0,00045416 X$	0,944
28	$\hat{Y} = 0,11 + 0,00107 X - 0,00000098 X^2$	0,969
42	$\hat{Y} = 0,16 - 0,00860 \sqrt{X} + 0,00048701 X$	0,890
56	$\hat{Y} = 0,11 - 0,00713 \sqrt{X} + 0,00045416 X$	0,848
70	$\hat{Y} = 0,05 + 0,00025621 X$	0,882
<i>Panicum maximum</i>		
14	$\hat{Y} = -0,16 + 0,00180 X - 0,00000104 X^2$	0,954
28	$\hat{Y} = 0,08 + 0,00089048 X$	0,976
42	$\hat{Y} = 0,12 - 0,01046 \sqrt{X} + 0,00091262 X$	0,976
56	$\hat{Y} = 0,08 - 0,00940 \sqrt{X} + 0,00068805 X$	0,961
70	$\hat{Y} = 0,05 + 0,00022272 X$	0,829
Rebrotação:		
<i>Brachiaria decumbens</i>		
28	$\hat{Y} = 0,20 - 0,00852 \sqrt{X} + 0,00046273 X$	0,791
42	$\hat{Y} = 0,08 - 0,00456 \sqrt{X} + 0,00031035 X$	0,871
<i>Panicum maximum</i>		
28	$\hat{Y} = 0,10 - 0,00590 \sqrt{X} + 0,00069924 X$	0,981
42	$\hat{Y} = 0,05 + 0,00029498 X$	0,960

\*\*\*, \*\* e \* significativos a 0,1; 1 e 5%, respectivamente.

Em ambas as espécies, constatou-se que, a partir de 42 dias de crescimento, os teores de fósforo na parte aérea das plantas foram maiores nos tratamentos que não receberam fósforo em relação aos que o receberam nas doses de 64 e 128  $\text{mg dm}^{-3}$ . Com a aplicação das maiores doses de fósforo, os teores desse nutriente elevaram-se, caracterizando o fenômeno "Steenbjerg", ou "C shaped curve" (Bates, 1971). Esse efeito foi mais bem visualizado quando se relacionou a produção média de matéria seca, nas idades de 42, 56 e 70 dias, de cada espécie com os respectivos teores médios de fósforo (Figura 3). Na fase de rebrotação, esse efeito foi menos evidente. O mesmo fenômeno foi observado por Fonseca et al. (1992) em *Hyparrhenia rufa*, *B. decumbens* e *Andropogon gayanus*. As causas desse fenômeno podem ser atribuídas à falta ou baixa remobilização do fósforo das folhas velhas e dos colmos para tecidos novos, à necrose do meristema apical com a paralisação do crescimento (Marschner, 1995) ou à deficiência severa de fósforo, o que pode diminuir o potencial de crescimento das plantas, mas não o acúmulo de fósforo (Bates, 1971).

### Níveis críticos de fósforo na parte aérea das plantas

Os valores de NiCrí de fósforo na parte aérea diminuíram exponencialmente com a idade das plantas, ajustando-se a uma regressão potencial (Figura 4), à semelhança do verificado em NiCrí de fósforo no solo. Isso indica aumento gradativo da eficiência nutricional das plantas com a idade, envolvendo ganhos na eficiência de aquisição e, ou,



**Figura 3. Variação da produção de matéria seca, considerando os teores de fósforo na parte aérea de *B. decumbens* (a) e de *P. maximum* (b). Média dos valores aos 42, 56 e 70 dias.**

translocação e, ou, utilização e, conseqüentemente, menor requerimento (interno e externo) desse nutriente.

Embora as duas espécies tenham apresentado a mesma tendência de variação, a espécie *B. decumbens* exibiu maiores NiCrí em todas as idades (Figura 4), exceto aos 14 dias de crescimento. Os NiCrí de fósforo maiores em *B. decumbens* do que em cultivares da espécie *P. maximum* também foram encontrados em outros estudos (Martinez & Haag, 1980; Hoffmann et al., 1995).

Na idade de 14 dias de crescimento inicial, estimaram-se NiCrí de fósforo de 0,57 e 0,60 dag kg<sup>-1</sup>, para *B. decumbens* e *P. maximum*, respectivamente, valores esses considerados elevados e semelhantes aos estimados para espécies olerícolas muito exigentes de fósforo (Novais et al., 1993). No entanto, nas idades seguintes, com a diminuição dos NiCrí, os valores estimados aproximaram-se dos NiCrí estabelecidos para essas espécies forrageiras em outros trabalhos (Fonseca et al., 1992; Guss et al., 1990; Hoffmann et al., 1995).

Os NiCrí de fósforo na parte aérea das plantas também diminuíram com a idade de rebrotação (Figura 4) e foram similares àqueles estimados para

as idades mais avançadas do crescimento inicial. Considerando que houve período de crescimento inicial de 42 dias, as plantas colhidas aos 28 e 42 dias de rebrotação tinham idade de 70 e 84 dias após a emergência, respectivamente. Apesar disso, os níveis críticos estimados para a rebrotação de 28 dias foram mais elevados do que os para as plantas de mesma idade, sem sofrer corte. Como o corte realizado eliminou toda a parte aérea das plantas, a maior proporção de folhas novas e o menor crescimento do caule no período de 28 dias de rebrotação explicam os maiores valores de NiCrí. Aos 42 dias de rebrotação, os NiCrí aproximaram-se dos valores das duas maiores idades no crescimento inicial.

Os menores valores de NiCrí na fase de rebrotação, em relação aos valores estimados para as menores idades do crescimento inicial, ratificaram o aumento da eficiência nutricional do fósforo com a idade das plantas, daí os menores requerimentos de fósforo depois do estabelecimento dessas forrageiras. Dessa forma, para avaliação criteriosa do estado nutricional do fósforo na planta, devem-se levar em consideração a idade das plantas após a implantação e em cada ciclo de crescimento, as características do solo e os demais fatores citados por Bates (1971).

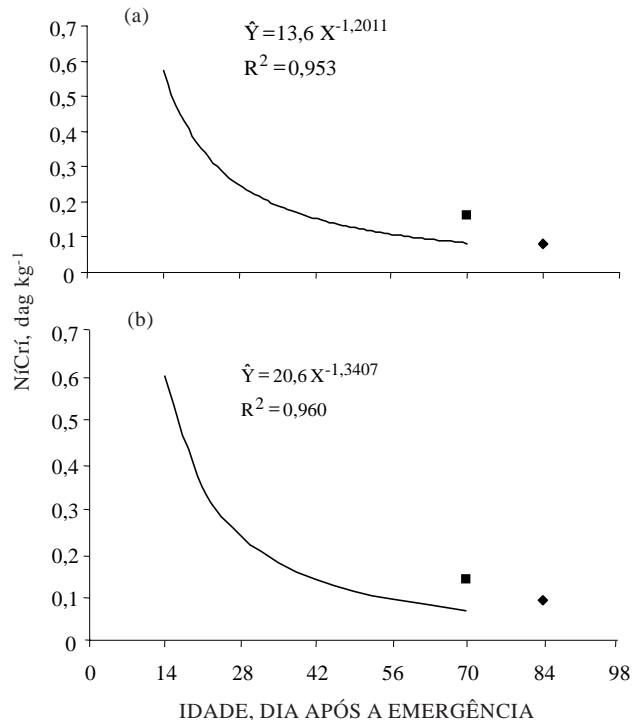
## CONCLUSÕES

1. Os NiCrí de fósforo no solo e na parte aérea das plantas das duas espécies de gramíneas forrageiras decresceram exponencialmente de acordo com a idade de crescimento das plantas.

2. Os NiCrí de fósforo no solo, aos 28 e 42 dias de rebrotação, mantiveram-se com valores próximos aos determinados para a idade de 70 dias no crescimento inicial.

3. Os NiCrí de fósforo na parte aérea das plantas, na fase de rebrotação, foram maiores aos 28 dias, mas menores do que os NiCrí estimados nas idades de 14 e 28 dias de crescimento inicial. Aos 42 dias de rebrotação, os NiCrí tiveram valores similares aos estabelecidos nas idades de 56 e 70 dias no crescimento inicial.

4. A queda exponencial dos NiCrí de fósforo no solo e na planta evidenciou a redução dos requerimentos desse nutriente conforme a idade de crescimento das plantas. Dessa forma, recomenda-se o manejo da adubação das duas gramíneas forrageiras: adubação de plantio ou "arranque" e outra de manutenção da produtividade.



**Figura 4. Variação dos níveis críticos de fósforo na parte aérea, considerando a idade das plantas de *B. decumbens* (a) e de *P. maximum* (b). Os pontos correspondem aos valores de rebrotação de 28 (■) e 42 (◆) dias após 42 dias de crescimento inicial.**

## LITERATURA CITADA

- ALVAREZ V., V.H. Correlação e calibração de métodos de análise de solos. In: ALVAREZ V., V.H.; FONTES, L.E.F. & FONTES, M.P.F., eds. O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996. p.615-645.



- ALVAREZ V., V.H. & FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo., 14:49-55, 1990.
- ALVAREZ V., V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. & OLIVEIRA, J.A. Determinação e uso do fósforo remanescente. B. Inf. SBCS, 25:27-32, 2000.
- BARBER, S.A. Soil-plant interactions in the phosphorus nutrition of plants. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J., eds. The role of phosphorus in agriculture. Madison, American Society of Agronomy, 1980. p.591-616.
- BARROW, N.J. The response to phosphate of two annual pasture species. II The specific rate of uptake of phosphate, its distribution and use for growth. Aust. J. Agric. Res., 26:145-156, 1975.
- BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. Soil Sci., 112:116-130, 1971.
- BRAGA, J.M. & DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica do fósforo em extratos de solos e plantas. R. Ceres, 21:124-136, 1974.
- CORRÊA, L.A. & HAAG, H.P. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras em Latossolo Vermelho-Amarelo, álico: I: Ensaio em casa de vegetação. Sci. Agric., 50:99-108, 1993.
- CORSI, M., SANTOS, P.M. Potencial de produção do *Panicum maximum*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12., Piracicaba, 1995. Anais. Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1995. p.275-304.
- DEFELIPO, B.V. & RIBEIRO, A.C. Análise química do solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1981. 15p.
- EDWARDS, J.H. & BARBER, S.A. Phosphorus uptake rate of soybeans roots as influenced by plant age, root trimmed, and solution P concentration. Agron. J., 68:973-975, 1976.
- FONSECA, D.M.; ALVAREZ V., V.H.; NEVES, J.C.L.; GOMIDE, J.A.; NOVAIS, R.F. & BARROS, N.F. Níveis críticos de fósforo em amostras de solo para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. R. Bras. Ci. Solo, 12:49-58, 1988.
- FONSECA, D.M.; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ V., V.H.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. & BARROS, N.F. Absorção, utilização e níveis críticos de fósforo em *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. R. Soc. Bras. Zoot., 21:730-743, 1992.
- FONSECA, D.M.; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ V., V.H. & NOVAIS, R.F. Fatores que influenciam os níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras: I. Casa de vegetação. R. Bras. Ci. Solo, 21:27-34, 1997.
- GNAZDOWSKA, A.; KRAWCZAK, A.; MIKULSKA, M. & RYCHTER, A.M. Low phosphorus nutrition alters beans plants' ability to assimilate and translocate nitrate. J. Plant Nutr., 22:551-563, 1999.
- 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. R. Soc. Bras. Zoot., 19:278-289, 1990.
- HOFFMANN, C.R.; FAQUIN, V.; GUEDES, G.A.A. & EVANGELISTA, A.R. O nitrogênio e o fósforo no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um Latossolo da região noroeste do Paraná. R. Bras. Ci. Solo, 19:79-86, 1995.
- HOLFORD, I.C.R. Soil phosphorus: its measurement, and its uptake by plants. Aust. J. Soil Res., 35:227-239, 1997.
- JUNGK, A. & BARBER, S.A. Plant age and the phosphorus uptake characteristics of trimmed and untrimmed corn root systems. Plant Soil, 42:227-239, 1975.
- LEITE, G.G. & EUCLIDES, V.P.B. Utilização de pastagens de *Brachiaria* spp. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11., Piracicaba, 1994. Anais. Piracicaba, Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1994. p.267-297.
- MACEDO, M.C.M. Pastagens no ecossistema cerrado: pesquisa para o desenvolvimento sustentável. In: SIMPÓSIO SOBRE PASTAGENS NOS ECOSISTEMAS BRASILEIROS: PESQUISAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL, Brasília, 1995. Anais. Brasília, Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1995. p.28-62.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. 2.ed. New York, Academic Press, 1995. 874p.
- MARTINEZ, H.E.P. & HAAG, H.P. Níveis críticos de fósforo em *Brachiaria decumbens* (Stapf) Prain, *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickerdt, *Digitaria decumbens* Stent, *Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf, *Melinis minutiflora* Pal de Beauv, *Panicum maximum* Jacq. e *Pennisetum purpureum* Schum. An. ESALQ, 37: 913-977, 1980.
- NEVES, J.C.L. Aspectos nutricionais em mudas de *Eucalyptus* spp – Tolerância ao alumínio e níveis críticos de fósforo no solo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1983. 87p. (Tese de Mestrado)
- NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. & COUTO, C. Níveis críticos de fósforo no solo para o eucalipto. R. Arv, 6:29-37, 1982.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; CASALI, V.W.D. & FABRES, A.S. The influence of soil phosphate capacity factor on soil and plant phosphorus critical levels of different vegetables. In: FRAGOSO, M.A.C. & VAN BEUSICHEM, M.I., eds. Optimization in plant nutrition. Dordrecht, Kluwer Academic Press, 1993. p.73-76.
- RAO, I.M.; AYARZA, M.A. & GARCIA, R. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils I. Differences in plant growth, nutrient acquisition and nutrient utilization among C<sub>4</sub> grasses and C<sub>3</sub> legumes. J. Plant Nutr., 18:2135-2155, 1995.
- RIVAS Y., F.F. Nutrição fosfatada e fotossíntese no sistema simbiótico *Medicago sativa* – *Rhizobium meliloti* em solos com diferentes disponibilidades de fósforo. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1997. 124p. (Tese de Doutorado)
- SANCHEZ, P.A. & SALINAS, J.G. Low-input technology for managing oxisols in Tropical America. Adv. Agron., 34:279-406, 1981.
- SCHACHTMAN, D.P.; REID, R.J. & AYLING, S.M. Phosphorus uptake by plants: from soil to cell. Plant Physiol., 116:447-453, 1998.

- URQUIAGA, S.; OLIVEIRA, O.; OLIVEIRA, I.; FERREIRA, E.; ALVES, B.; CADISCH, G. & BODDEY, R. Soil nutrient availability in relation to the productivity of pastures in the Brazilian cerrado. In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 16., Montpellier, 1998. Proceedings. Montpellier, International Soil Science Society, 1998. (Scientific registration, 2291; Symposium, 14; CD-ROM)
- ZIMMER, A.H. & CORREA, E.S. A pecuária nacional, uma pecuária de pasto? In: ENCONTRO SOBRE RECUPERAÇÃO DE PASTAGENS, Nova Odessa, 1993. Anais. Nova Odessa, Instituto de Zootecnia, 1993. p.1-26.
- WILSON, J.R. Variation of leaf characteristics with level of insertion on a grass tiller. II Anatomy. Aust. J. Agric. Res., 27:355-364, 1976b.