

**NUTRIÇÃO EM FÓSFORO E ATIVIDADE DA FOSFATASE
ÁCIDA NOS CAPINS BRAQUIÁRIA E COLONIÃO**

CARLA ROSSI

ENGENHEIRA AGRÔNOMA

Orientador: Prof. Dr. **FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO**

Tese apresentada à Escola Superior de
Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia, Área de
concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo - Brasil

Maio - 1999

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Rossi, Carla

Nutrição em fósforo e atividade da fosfatase ácida nos capins braquiária e
colonião / Carla Rossi. - - Piracicaba, 1999
121 p. il.

Tese (doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1999.
Bibliografia.

1. Adubação fosfatada 2. Capim braquiária 3. Capim colonião 4. Crescimen-
to vegetal. 5. Fosfatase ácida 6. Nutrição vegetal I Título

CDD 633.2

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O Autor"

Aos meus pais

José Rossi Neto e Loreci Hübner Rossi,

aos meus irmãos Mirian e Renato,

pelo apoio, carinho e incentivo constantes,

Ofereço.

Ao meu namorado Jailson Lara Fagundes,

pela amizade, paciência e amor

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Francisco Antonio Monteiro pela orientação, amizade, estímulo e apoio prestados na realização deste trabalho.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento, CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos professores do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP pelos ensinamentos e auxílio prestados no decorrer do curso.

Ao professor Dr. Luis Roberto F. Alleoni e ao pesquisador Dr. Herbert Barbosa de Mattos pelas sugestões à tese.

Aos estagiários e pós-graduandos da Área de Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ/USP que auxiliaram em várias etapas experimentais.

A todos os colegas do curso de pós-graduação em Solos e Nutrição de Plantas, pelo constante incentivo, pela amizade e convivência harmoniosa.

Aos amigos Sonia Maria Schaefer, Luciana Kolm, Lucia Alvares, Jonas Ruschel, Antonio Sampaio, Aderbal Rocha, João Batista Rodrigues de Abreu, Vanderlei Koefender, Regis Heinrich, com os quais dividi bons momentos.

A todos os funcionários do Setor de Nutrição Mineral de Plantas pelo auxílio na realização das análises químicas.

Às Instituições de Ensino Público que me proporcionaram estudo e que, sem as quais, seria difícil conseguir alcançar o presente momento.

Aos demais colegas, amigos e parentes que me incentivaram, apoiaram e que, de uma forma ou de outra, cooperaram e contribuíram nesta caminhada.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
SUMMARY	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Espécies forrageiras.....	3
2.1.1 <i>Brachiaria decumbens</i>	3
2.1.2 <i>Panicum maximum</i>	4
2.2 Fósforo nas plantas forrageiras.....	6
2.2.1 Resposta de gramíneas forrageiras à adubação fosfatada.....	7
2.3 Enzima fosfatase ácida	11
3 DOSES DE FÓSFORO E ÉPOCAS DE COLETA NA NUTRIÇÃO EM FÓSFORO E NA ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA FOLIAR DOS CAPINS BRAQUIÁRIA E COLONIÃO	17
3.1 Resumo.....	17
3.2 Summary: PHOSPHORUS RATES AND HARVEST TIMES IN THE PHOSPHORUS STATUS AND LEAF ACID PHOSPHATASE ACTIVITY IN SIGNAL AND COLONIÃO GRASSES	18
3.3 Introdução	18
3.4 Material e Métodos.....	20
3.4.1 Localização, espécies forrageiras e época	20
3.4.2 Doses de fósforo e delineamento experimental	21
3.4.3 Instalação e condução do experimento.....	22
3.4.4 Coleta do material vegetal.....	23
3.4.4.1 Produção de matéria seca e concentração de fósforo no tecido.....	23
3.4.4.2 Atividade de fosfatase ácida no tecido foliar	24
3.4.5 Análises estatísticas	24
3.5 Resultados e Discussão.....	25

3.5.1 <i>Brachiaria decumbens</i>	25
3.5.1.1 Produção de matéria seca	25
3.5.1.2 Concentração de fósforo no tecido foliar	29
3.5.1.3 Atividade da fosfatase ácida foliar.....	32
3.5.2 <i>Panicum maximum</i> cv. coloniãõ	37
3.5.2.1 Produção de matéria seca	37
3.5.2.2 Concentração de fósforo no tecido foliar.....	40
3.5.2.3 Atividade da fosfatase ácida foliar.....	44
3.6 Conclusões	48
4 NUTRIÇÃO EM FÓSFORO E ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA FOLIAR DOS CAPINS BRAQUIÁRIA E COLONIÃO EM SOLUÇÃO NUTRITIVA	49
4.1 Resumo.....	49
4.2 Summary: PHOSPHORUS STATUS AND LEAF ACID PHOSPHATASE ACTIVITY ON SIGNAL GRASS AND COLONIÃO GRASS GROW IN NUTRIENT SOLUTION.....	50
4.3 Introdução	51
4.4 Material e Métodos.....	53
4.4.1 Localização, espécies forrageiras e época	53
4.4.2 Doses de fósforo e delineamento experimental	53
4.4.3 Instalação e condução do experimento.....	54
4.4.4 Coleta e análise do material vegetal	55
4.4.4.1 Produção de matéria seca e concentração de fósforo na planta.....	55
4.4.4.2 Atividade de fosfatase ácida no tecido foliar	56
4.4.5 Análises estatísticas.....	56
4.5 Resultados e Discussão.....	57
4.5.1 <i>Brachiaria decumbens</i>	57
4.5.1.1 Produção de matéria seca e número de perfilhos.....	57
4.5.1.2 Sintomas visuais	60
4.5.1.3 Concentração de fósforo na planta	62
4.5.1.4 Atividade da fosfatase ácida foliar.....	64

4.5.1.5	Nível crítico de fósforo.....	67
4.5.2	<i>Panicum maximum</i> cv. coloniã.....	68
4.5.2.1	Produção de matéria seca	68
4.5.2.2	Sintomas visuais	71
4.5.2.3	Concentração de fósforo na planta	71
4.5.2.4	Atividade da fosfatase ácida foliar.....	74
4.5.2.5	Nível crítico de fósforo.....	76
4.6	Conclusões	77
5	NUTRIÇÃO EM FÓSFORO E ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA FOLIAR NOS CAPINS BRAQUIÁRIA E COLONIÃO EM UM LATOSSOLO	79
5.1	Resumo.....	79
5.2	Summary: PHOSPHORUS STATUS AND LEAF ACID PHOSPHATASE ACTIVITY ON SIGNAL AND COLONIÃO GRASSES GROWN IN LATOSOL ..	80
5.3	Introdução	81
5.4	Material e Métodos.....	83
5.4.1	Localização, espécies forrageiras e época	83
5.4.2	Solo.....	83
5.4.3	Preparo dos vasos e calagem.....	84
5.4.4	Adubação, doses de fósforo e delineamento experimental.....	84
5.4.5	Condições de instalação e condução do experimento	85
5.4.6	Coleta e análise do material vegetal	86
5.4.6.1	Produção de matéria seca e concentração de fósforo na planta.....	87
5.4.6.2	Atividade de fosfatase ácida no tecido foliar	87
5.4.7	Análises estatísticas.....	88
5.5	Resultados e Discussão.....	88
5.5.1	<i>Brachiaria decumbens</i>	88
5.5.1.1	Produção de matéria seca e número de perfilhos.....	88
5.5.1.2	Concentração de fósforo na planta	92
5.5.1.3	Atividade da fosfatase ácida foliar.....	94
5.5.1.4	Nível crítico de fósforo.....	96

5.5.2 <i>Panicum maximum</i> cv. colonião	97
5.5.2.1 Produção de matéria seca e número de perfilhos.....	97
5.5.2.2 Concentração de fósforo na planta	100
5.5.2.3 Atividade da fosfatase ácida foliar.....	102
5.5.2.4 Nível crítico de fósforo.....	104
5.6 Conclusões	105
6 CONCLUSÕES	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	109

NUTRIÇÃO EM FÓSFORO E ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA NOS CAPINS-BRAQUIÁRIA E COLONIÃO

Autor: Carla Rossi

Orientador: Prof. Dr. Francisco Antonio Monteiro

RESUMO

Foram conduzidos seis experimentos, em casa-de-vegetação, três com o capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) e três com o capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião). O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e desenvolvimento de duas espécies, determinando o teor de fósforo no tecido e os níveis de atividade da fosfatase ácida, com a finalidade de dar suporte à avaliação do estado nutricional dessas forrageiras quanto ao fósforo.

Dois experimentos iniciais constaram, para cada espécie, de um fatorial no qual foram estudadas três doses de fósforo (3,1; 15,5 e 31,0 mg L⁻¹) e 10 épocas de coleta das plantas, efetuadas em intervalos de três dias. O delineamento experimental foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições. A produção da parte aérea e das raízes das duas espécies e a concentração de fósforo foi crescente com o aumento das doses de fósforo, em praticamente todas as épocas de coleta. A atividade da fosfatase ácida nas duas espécies forrageiras decresceu com o aumento das doses de fósforo e esteve entre 19 e 37 $\mu\text{mol p-nitrofenilfosfato por hora por grama de massa fresca}$ ($\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$).

O terceiro e quarto experimentos foram conduzidos em solução nutritiva, com as mesmas espécies de gramíneas forrageiras cultivadas nos dois primeiros experimentos. Foram utilizadas oito doses de fósforo (0,31; 0,93; 1,55; 3,1; 9,3; 15,5; 31,0 e 46,5 mg L⁻¹). O delineamento adotado foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições. As plantas foram colhidas aos 40 dias após o

transplântio, sendo separadas em folhas não-expandidas, lâminas de folhas novas, lâminas de folhas velhas, colmos + bainhas e raízes. As doses de fósforo proporcionaram aumento na produção de matéria seca e na concentração de fósforo de capim-braquiária e capim-colonião, com concentrações mais baixas nas raízes e colmos + bainhas. A atividade da fosfatase ácida das duas espécies decresceu com o aumento das doses de fósforo até 31,0 mg L⁻¹. O nível crítico interno de fósforo variou de 1,96 a 3,91 g kg⁻¹ para o capim-braquiária e de 1,35 a 2,28 g kg⁻¹ para o capim-colonião, conforme a parte considerada da planta. O nível crítico para atividade da fosfatase ácida foi 20 µmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF para as duas espécies.

O quinto e sexto experimentos foram conduzidos em Latossolo Vermelho-Amarelo, com as mesmas forrageiras. Foram utilizadas oito doses de fósforo (0, 20, 40, 60, 80, 160, 240 e 320 mg kg⁻¹ de solo). O delineamento adotado foi o de blocos completos ao acaso, com cinco repetições. As plantas foram colhidas aos 45 dias após a emergência, separadas do mesmo modo que nos experimentos anteriores. As doses de fósforo proporcionaram aumento na produção de matéria seca e na concentração de fósforo de capim-braquiária e capim-colonião, com concentrações mais baixas nas raízes e colmos + bainhas. A atividade da fosfatase ácida em capim-braquiária e capim-colonião decresceu com o aumento das doses de fósforo. O nível crítico interno de fósforo variou de 1,17 a 2,71 g kg⁻¹ para o capim-braquiária e de 1,47 a 2,76 g kg⁻¹, para o capim-colonião, conforme a parte amostrada da planta. O nível crítico para atividade da fosfatase ácida foliar foi de 25 µmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF para o capim-braquiária e 20 µmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF para o capim-colonião.

PHOSPHORUS STATUS AND ACID PHOSPHATASE ACTIVITY ON SIGNAL AND COLONIÃO GRASSES

Author: Carla Rossi

Adviser: Prof. Dr. Francisco Antonio Monteiro

SUMMARY

Six experiments were carried out in greenhouse conditions, three with signal grass (*Brachiaria decumbens* Stapf.) and three with coloniãõ grass (*Panicum maximum* Jacq. cv. Coloniãõ). The objective of these studies was to evaluate the effects of the phosphorus on dry matter yield, levels of acid phosphatase activity and concentration of phosphorus in the plant tissue, in order to supply information for the evaluation of the nutritional status of those forages in relation to phosphorus.

The two initial experiments were 3 X 10 factorials, for those species, with three phosphorus rates (3.1, 15.5 and 31.0 mg L⁻¹) and 10 harvest periods. The experiments were set in complete randomized block design, with four replications. The shoots and roots dry matter and the concentration of phosphorus in the two species increased with phosphorus rates, in almost all harvest periods. The acid phosphatase activity decreased with the increase in phosphorus rates, and ranged between 19 and 37 µmol p-nitrophenilphosphate per hour per gram fresh weight (µmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ FW).

The third and fourth experiments were carried out in nutrient solution, with signal grass and coloniãõ grass, respectively. Eight phosphorus rates were used (0.31, 0.93, 1.55, 3.1, 9.3, 15.5, 31.0 and 46.5 mg L⁻¹). The experiments were set in complete randomized block design, with four replications. Plants were harvested at 40 days after transplanting, and plant tops were separated into non-expanded leaves, young leaf blades, old leaf blades, culms + sheaths and roots. The

phosphorus rates increased the dry matter yield of signal grass and colonião grass. There was an increase in the concentration of phosphorus with the phosphorus rates, and low concentrations occurred in roots and culms + sheaths. The activity of acid phosphatase of the two species decreased with the increase of phosphorus rates up to 31.0 mg L⁻¹. The critical levels of phosphorus in the plant changed from 1.96 to 3.91 g kg⁻¹ for signal grass and from 1.35 to 2.28 g kg⁻¹ for colonião grass. The critical level for acid phosphatase activity was about 20 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ FW for the two species.

The fifth and sixth experiments were carried out in a Latosol, with signal grass and colonião grass, respectively. Eight rates of phosphorus were used (0, 20, 40, 60, 80, 160, 240 and 320 mg kg⁻¹ of soil). The experiments were set in complete randomized block design, with five replications. Plants were harvested at 40 days after transplanting, and plant tops were separated into non-expanded leaves, young leaf blades, old leaf blades, culms + sheaths and roots. The phosphorus rates increased the dry matter yield. There was an increase in the concentration of phosphorus with the increase of the phosphorus rates, and low concentrations occurred in roots and culms + sheaths. The activity of acid phosphatase in signal grass and colonião grass decreased with increases in phosphorus rates. The critical levels of phosphorus in the plant changed from 1.17 to 2.71 g kg⁻¹ for signal grass and from 1.47 to 2.76 g kg⁻¹ for colonião grass. The critical level for acid phosphatase activity was about 25 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ FW for signal grass and 20 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ FW for colonião grass.

1 INTRODUÇÃO

A pecuária é uma das principais atividades econômicas do Brasil e baseia-se no uso de pastagens nativas ou cultivadas para suprimento de nutrientes para os animais, principalmente ruminantes. Independente do grau de desenvolvimento de uma região, é muito provável que uma ou mais forrageiras constituam a base do sistema de produção animal, suprimindo em alguns casos até a totalidade dos nutrientes consumidos pelos animais.

Um dos maiores problemas no estabelecimento de pastagens na maioria dos solos brasileiros está nos níveis extremamente baixos de fósforo disponível. Esta baixa disponibilidade, aliada à alta retenção do íon fosfato pelos óxidos de ferro e alumínio, é o fator preponderante que limita a implantação de pastagens, uma vez que o fósforo tem grande influência na iniciação dos perfilhos e no crescimento inicial das plantas forrageiras.

Durante os anos 70, o capim-colonião (*Panicum maximum*) ocupava no Estado de São Paulo, mais de um terço da área destinada à pecuária. Sua exigência em fertilidade do solo, contribuíram para sua substituição por outras espécies mais adaptadas a condições de solo menos férteis.

Os capins do gênero *Brachiaria* tornaram-se os mais plantados no Brasil, ocupando atualmente mais de 50% da área de pastagens cultivadas da região tropical. Esta expansão deveu-se, principalmente, à adaptação destas gramíneas às mais variadas condições de solo e clima, propiciando melhores produções em solos sem alta fertilidade natural, embora essas condições não permitam a expressão de seu máximo potencial produtivo.

Em vista da acentuada importância do fósforo nas pastagens, são importantes os estudos que venham a contribuir para melhor conhecimento da relação fósforo-forrageira. Existem várias formas de avaliar o estado nutricional de uma planta e os mais comuns são a diagnose visual, a diagnose foliar, e menos comumente usados os testes bioquímicos. Atualmente, a utilização de parâmetros bioquímicos, como a atividade de enzimas que possa refletir o nível de um determinado nutriente no tecido vegetal tem recebido maior interesse por constituir, em alguns casos, um procedimento rápido e sensível no diagnóstico da suficiência ou deficiência de nutrientes minerais.

Em relação à nutrição das plantas com fósforo, o teste bioquímico mais usado consiste na determinação da atividade de fosfatase ácida, que apresenta maior atividade quando há deficiência de fósforo. Correlações já foram obtidas em algumas culturas como trigo, arroz e eucalipto entre a atividade da fosfatase ácida e a concentração e o acúmulo de fósforo no tecido, bem como na produção final.

O estudo da fosfatase ácida, embora realizado com outras plantas, é raro em plantas forrageiras. Resultados com a atividade enzimática da fosfatase ácida da folha indicam que esta pode ser utilizada como um parâmetro para avaliar o estado nutricional de gramíneas forrageiras em relação ao fósforo. Entretanto, até o momento, não há informações em quantidade suficiente para fornecer suporte adequado ao estabelecimento de níveis críticos da atividade da fosfatase ácida no tecido vegetal, que indiquem valores a partir dos quais pode-se avaliar as condições da nutrição da planta em fósforo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e desenvolvimento de duas espécies de gramíneas forrageiras, *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum*, determinando a concentração de fósforo no tecido e os níveis de atividade da fosfatase ácida, com a finalidade de dar suporte à avaliação do estado nutricional dessas forrageiras quanto ao fósforo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Espécies forrageiras

2.1.1 *Brachiaria decumbens*

O gênero *Brachiaria* é muito amplo, com cerca de 100 espécies e mais de 1000 acessos já identificados (Keller-Grein et al., 1996), tendo seu principal centro de origem e diversificação no leste da África, em altitudes acima de 800 m, sob clima moderadamente úmido e ocorrendo naturalmente nas savanas africanas. As gramíneas desse gênero se reproduzem por apomixia, sendo desnecessário isolar culturas para produção de sementes (Bogdan, 1977).

No Brasil, as gramíneas do gênero *Brachiaria* são conhecidas sob o prisma da forragicultura desde 1950. Entretanto, a verdadeira expansão desse gênero ocorreu no cerrado, nas três décadas mais recentes, principalmente nas regiões de clima mais quente. A *Brachiaria* vem ocupando de forma crescente as áreas de pastagens nativas (que geralmente são de baixo rendimento e baixa qualidade), sendo o capim mais plantado no país, e utilizado na cria, recria e engorda de animais (Soares Filho, 1994).

Cultivada em todas as regiões do país, essa forrageira destaca-se por ocupar grandes extensões de áreas do Brasil Central. Zimmer et al. (1994) estimaram que a área de pastagem formada com braquiárias no Brasil estava em torno de 60 milhões de hectares. Neste sentido, Miles et al. (1996) consideraram que a *Brachiaria decumbens* cv. Basilik e a *Brachiaria brizantha*

cv. Marandu representavam cerca de 85% da área formada no Brasil com os capins desse gênero.

A *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk, originalmente coletada em Uganda, foi levada para a Austrália, lançada como variedade comercial em 1966 (Keller-Grein et al., 1996) e chegou ao Brasil em 1968 (Valle & Miles, 1994). Esse cultivar é bastante agressivo, suporta pastejo sob lotação contínua e tem palatabilidade e valor nutricional que garantem um bom desempenho animal (Leite & Euclides, 1994).

A disseminação da *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk ocorreu devido à boa produção e germinação de sementes, alta agressividade na competição com vegetação nativa e elevada disseminação pela ressemeadura. Além disso, é mais tolerante à seca que os capins *Digitaria decumbens*, *Brachiaria humidicola* e *Brachiaria ruziziensis* (Soares Filho, 1994). Adaptada a vários tipos de solos, requer boas condições de drenagem e de fertilidade, embora tolere condições de acidez e solos com baixos teores de nutrientes. A produção de forragem varia com a fertilidade do solo e umidade disponível, ou seja, seu nível de produção será baixo em solos pobres, elevando-se proporcionalmente conforme se eleva a fertilidade do solo (Ghisi & Pedreira, 1986).

2.1.2 *Panicum maximum*

O gênero *Panicum* inclui várias plantas perenes ou anuais de diversos hábitos de crescimento. É um gênero numeroso, com cerca de 500 espécies que ocorrem em países de clima quente, especialmente nos trópicos (Bogdan, 1977). Apesar de várias espécies de *Panicum* terem potencial para serem utilizadas como pastagem, verifica-se que o número de espécies exploradas para pastejo é muito pequeno. No Brasil, praticamente só o *Panicum maximum* tem expressão.

O *Panicum maximum* Jacq. é originário da África tropical e, provavelmente foi introduzido no continente americano, no fim do século XVIII, acidentalmente, com os navios de escravos vindos do oeste da África (Parsons, 1972). Devido a sua alta produtividade, palatabilidade e boa persistência, disseminou-se em vários países, como Brasil, Cuba, Estados Unidos, Peru e Porto Rico (Jank, 1994).

Durante muitos anos o cultivar predominante de *Panicum maximum* no Brasil foi o Colonião, sendo inclusive utilizado como testemunha em experimentos de melhoramento genético, onde procuram-se acessos superiores ao mesmo. O capim-colonião, tem intenso crescimento na época das águas e apresenta baixa produção na época seca, o que resulta em uma grande estacionalidade de produção e se constitui num de seus principais problemas. Esse cultivar também tem como característica ser pouco adaptado a solos de baixa fertilidade (Jank & Costa, 1990; Jank, 1994; Aronovich, 1995).

Apesar das características negativas do capim-colonião, ele apresenta outras características excelentes em relação ao restante do germoplasma de *Panicum maximum* existente, dificultando a seleção de espécies superiores. É o caso da boa produção de sementes, concentração elevada de proteína nas folhas, boa resistência ao pisoteio e ao fogo, entre outros (Jank, 1994).

O bom desempenho do capim-colonião associa-se a solos de textura média ou arenosa e com alta fertilidade, condições pouco freqüentes para a maioria dos solos das regiões tropicais e subtropicais (Skerman & Riveros, 1992). Conforme Corsi & Santos (1995), o nível de fertilidade do solo associado ao manejo inadequado são os fatores mais limitantes à expressão do potencial produtivo da espécie. Contudo, de acordo com Aronovich & Rocha (1985), a espécie *Panicum maximum* continua desempenhando papel importante nas áreas que estão sendo desmatadas ou onde se justifique o emprego de fertilizantes, embora essa importância tenha decrescido nos últimos tempos.

2.2 Fósforo nas plantas forrageiras

Na maioria dos solos utilizados com pastagens no país, mesmo naqueles com média fertilidade, o fósforo é o nutriente que se apresenta com teores disponíveis mais baixos. O fósforo é um nutriente muito importante para as forrageiras, sobretudo nos períodos iniciais de vida da planta, quando é absorvido em grande quantidade e exerce destacada influência no perfilhamento, crescimento de raízes e alongação dos caules (Werner, 1986).

A importância do fósforo para a produtividade das plantas, dentre elas as forrageiras, decorre de sua participação nas membranas celulares (nos fosfolípidos), nos ácidos nucleicos, em compostos que armazenam e fornecem energia metabólica como o ATP, e assim, em uma série de processos metabólicos do vegetal tais como: fotossíntese, síntese de macromoléculas como carboidratos, proteínas e gorduras, absorção ativa de nutrientes e trabalho mecânico, dentre outros (Marschner, 1995).

O fósforo é absorvido pelas raízes das plantas principalmente na forma de íon ortofosfato ($H_2PO_4^-$) e é armazenado nos tecidos vacuolados da planta como fósforo inorgânico. Para o estabelecimento dos processos metabólicos dos quais o fósforo participa, é importante que se considere a alocação interna desse nutriente e sua utilização no metabolismo e crescimento. Desta maneira, alterações na absorção de fósforo, em função da maior ou menor facilidade do solo em suprir o nutriente à planta, levam a mudanças nas formas de reserva do fósforo na planta. Em condições de maior disponibilidade do nutriente, ocorre seu acúmulo na forma inorgânica, compartimentalizado ao nível de vacúolo, ou via síntese de compostos de reserva como polifosfatos e ácido fítico (Bileski, 1973; Marschner, 1995).

Em condições de deficiência de fósforo as plantas, de modo geral, exibem crescimento reduzido e freqüentemente apresentam coloração roxa devida à formação de antocianina. Também é freqüente nestas condições a

coloração verde com tonalidade mais escura que a de plantas normalmente bem supridas com fósforo, pois a divisão celular é retardada em relação à formação da clorofila. O metabolismo dos carboidratos nas folhas é diminuído, com conseqüências negativas para a atividade das raízes, que tem a condutividade hidráulica reduzida, captando menos água tendo afetadas a expansão e a divisão celular (Marschner, 1995).

Especificamente em gramíneas, a baixa disponibilidade de fósforo no solo não permite um bom perfilhamento e as plantas apresentam crescimento lento, secamento prematuro das folhas maduras e reduzido desenvolvimento do sistema radicular, proporcionando um espaço livre no pasto para o crescimento de plantas invasoras menos exigentes no nutriente (Werner, 1986). Além de reduzir o crescimento das plantas, a falta de fósforo no solo reduz sua concentração na matéria seca, causando danos aos animais que dela se alimentam, e esses danos se refletem na redução da fertilidade e do desenvolvimento dos animais jovens (Malavolta et al., 1974).

A concentração de fósforo nos tecidos vegetais é normalmente mais baixa que a de nitrogênio e potássio e, geralmente se situa entre 1 e 3 g kg⁻¹ de matéria seca. A faixa de 2 a 5 g kg⁻¹ (Butler & Jones, 1973; Jones et al., 1991; Marschner, 1995) propicia o crescimento ótimo da maioria das plantas. Skerman & Riveros (1992), trabalhando com 586 amostras de gramíneas forrageiras tropicais, relataram que a concentração de fósforo na matéria seca variou de 0,2 a 5,8 g kg⁻¹, com média de 2,2 g kg⁻¹, sendo influenciada pelas condições edafoclimáticas e pelo estágio de desenvolvimento da planta.

2.2.1 Resposta de gramíneas forrageiras à adubação fosfatada

Na literatura encontra-se uma série apreciável de trabalhos enfocando as respostas de gramíneas forrageiras à adubação fosfatada. Além das respostas das espécies em crescimento e produção, a determinação do nível

crítico e da concentração de fósforo no tecido vegetal, necessita ser estudada, visando relacioná-los com características que permitam prever, com certa segurança, a quantidade de fósforo adequada ao bom desenvolvimento das plantas. Dow & Roberts (1982) definiram o nível crítico ou faixa crítica do nutriente como sendo aquela acima da qual a planta é adequadamente suprida, e abaixo da qual ocorre deficiência do nutriente. O conhecimento do nível crítico interno de um nutriente é importante na diagnose de deficiência de nutrientes e nas predições de requerimentos de fertilizantes pelas plantas (Bates, 1971).

Andrew & Robins (1971) aplicaram doses de fósforo de 0 a 144 kg ha⁻¹, estudando a resposta de diversas gramíneas forrageiras. Os autores estabeleceram o nível crítico de fósforo na parte aérea de gramíneas tropicais, que foram de 1,6 g kg⁻¹ para *Digitaria decumbens*, de 2,0 g kg⁻¹ para *Panicum maximum* e de 2,5 g kg⁻¹ para *Cenchrus ciliaris*. A produção de matéria seca da parte aérea das plantas em tratamento sem fósforo foi muito baixa quando comparada àquela com doses ótimas de fósforo. De modo geral, todas as espécies responderam favoravelmente à adição de fósforo.

Falade (1975), trabalhando com diversas gramíneas forrageiras, incluindo o *Panicum maximum*, estimou o nível crítico interno de fósforo e a quantidade de fósforo que proporcionou a máxima produção de matéria seca. Esse máximo crescimento ocorreu com dose de fósforo de 30 mg/vaso. A concentração de fósforo na planta correspondente ao máximo crescimento em *Panicum maximum* foi 1,9 g kg⁻¹ no crescimento inicial e 1,8 g kg⁻¹ na rebrota.

Em estudo conduzido pelo CIAT (1978) foram determinadas as respostas de *Andropogum gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum* à adubação fosfatada. A maior produção de matéria seca foi observada para a *Brachiaria decumbens*, em baixo nível de fósforo no solo, indicando que a mesma pode utilizar mais eficientemente o fósforo e demonstrando ser melhor adaptada a solos com baixa disponibilidade neste

nutriente. Também foram determinadas as concentrações críticas de fósforo na parte aérea, que corresponderam a 1,1, 1,2 e 1,5 g kg⁻¹ para *Andropogum gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum*, respectivamente.

Werner & Haag (1972) estudaram os efeitos do fornecimento de fósforo em solução nutritiva na produção de matéria seca e na concentração de minerais em diversas gramíneas forrageiras. A produção de massa seca, tanto da parte aérea quanto das raízes do capim-colonião foi crescente com o aumento da concentração de fósforo na solução, tendo essa espécie respondido ao fósforo até 40 mg L⁻¹ de solução nutritiva. Os autores concluíram que o capim-colonião necessita de quantidades elevadas de fósforo para atender seu crescimento rápido e ativo.

Martinez (1980), ao avaliar a eficiência de absorção e utilização de fósforo por algumas gramíneas forrageiras em solução nutritiva, verificou que a produção da matéria seca cresceu com o aumento das doses de fósforo até cerca de 17 mg L⁻¹ para *Brachiaria decumbens* e 18,5 mg L⁻¹ para *Panicum maximum*. A autora citou os seguintes níveis críticos internos de fósforo, associados ao crescimento máximo: *Brachiaria decumbens* = 3,1 g kg⁻¹; *Digitaria decumbens* = 2,9 g kg⁻¹; *Panicum maximum* = 2,3 g kg⁻¹ e *Hyparrhenia rufa* = 5,8 g kg⁻¹.

Costa et al. (1983), estudando a resposta de capim-colonião e capim-jaraguá à aplicação de doses de fósforo até 400 mg kg⁻¹ de solo, observaram que a máxima resposta do capim-colonião em produção de matéria seca deu-se na faixa de 240-250 mg kg⁻¹ de solo, enquanto o maior incremento da produção foi observado com a aplicação de 50 mg kg⁻¹. Embora essa espécie tenha respondido aos níveis de fósforo elevando a concentração desse nutriente no tecido, os autores concluíram não ser viável a adubação fosfatada quando se pretende elevar a concentração desse elemento até o nível exigido para a nutrição animal, pois os maiores incrementos na concentração de

nutricional de fósforo em *Panicum maximum*, através da determinação do nível crítico amostrando “folhas novas”, que apresentam lâmina foliar totalmente expandida e lígula aparente.

Meirelles et al. (1988), estudando doses de fósforo para capim-colonião, concluíram que as folhas novas se mostraram as mais adequadas para fins de diagnose, pela melhor correlação entre a concentração do nutriente nesta parte da planta com a produção de massa seca, como também pela maior praticidade na coleta, pelo fato de não destruir toda a planta, e por ser mais facilmente identificável no campo.

Monteiro et al. (1995), visando identificar a parte da planta mais indicada para determinação do nível crítico de fósforo em *Brachiaria decumbens*, verificaram que a concentração de fósforo nas lâminas das folhas mais novas foi a que apresentou maior coeficiente de correlação com a produção de matéria seca da planta. Através de equação ajustada, esses autores determinaram que o nível crítico para 90% da máxima produção, foi alcançado quando a concentração de fósforo nas lâminas das folhas novas era de 1,5 g kg⁻¹.

2.3 Enzima fosfatase ácida

Deficiências nutricionais estão entre as principais limitações à produtividade de plantas cultivadas. Os métodos comumente usados para a diagnose de deficiências nutricionais consistem na avaliação de sintomas visuais e análises de solo e de tecido foliar. Entretanto, estes métodos são frequentemente imprecisos ou trabalhosos, ou ainda, os sintomas aparecem muito tarde para a causa ser remediada sem perda significativa de produção. Isto tem levado a maior interesse no uso de enzimas como indicadores bioquímicos de deficiências nutricionais (Epstein, 1975).

Um dos mais importantes e menos disponíveis nutrientes minerais para o crescimento das plantas é o fósforo. O ânion ortofosfato é a forma preferencialmente assimilada por organismos como as plantas, que adquirem seus nutrientes minerais diretamente do ambiente. A assimilação, armazenamento e metabolismo do fósforo inorgânico são de vital importância ao crescimento da planta e seu desenvolvimento. A aquisição e utilização eficiente de fósforo requer uma classe de enzimas conhecidas como fosfatases, que tem a função de hidrolisar fósforo inorgânico de ortofosfatos monoésteres em um processo termodinâmico espontâneo (Duff et al., 1994).

As fosfatases tem sido tradicionalmente classificadas como sendo alcalinas ou ácidas, de acordo com seu pH ótimo para catálise, que se encontra acima ou abaixo do pH 7,0. Fosfatases ácidas normalmente não exigem um substrato específico, sendo o para-nitrofenil fosfato o substrato mais comumente utilizado para estimativas da atividade da fosfatase ácida em extratos de plantas "in vitro". As fosfatases ácidas podem ser divididas em extracelulares e intracelulares (Duff et al., 1994).

As fosfatases ácidas extracelulares podem estar localizadas dentro da parede celular e/ou ser secretadas pelas raízes ou cultura de células para o meio ou rizosfera adjacente (Lee, 1988). O papel fisiológico exato destas enzimas ainda não está completamente estabelecido. A fosfatase ácida extracelular está envolvida na hidrólise e mobilização de fósforo inorgânico a partir de fosfatos orgânicos do solo para a nutrição da planta. Tal fato foi evidenciado por Lee (1988), em estudos envolvendo a fosfatase ácida, que teve sua atividade incrementada quando o nível de fósforo inorgânico solúvel nos solos foi baixo (freqüentemente menor ou igual a 1 μM).

Com relação às fosfatases ácidas intracelulares, tradicionalmente assume-se que estão presentes principalmente, se não exclusivamente, no vacúolo celular (Nishimura & Beevers, 1988). A compartimentalização de fosfatases ácidas dentro do vacúolo celular permite que a enzima acesse

somente aqueles substratos que são permeáveis ao tonoplasto, enquanto que ao mesmo tempo, remove-os do citoplasma onde a catálise não controlada pode causar consideráveis danos celulares. A descompartimentalização de fosfatases ácidas do vacúolo tem sido proposta como um mecanismo para mobilização de fósforo inorgânico de compostos fosforilados endógenos de tecidos senescentes da planta (De Leo & Sacher, 1970). Embora a função metabólica precisa das fosfatases vacuolares necessite ainda ser completamente elucidadas, assume-se que a mesma esteja envolvida na mobilização e reciclagem de fósforo inorgânico em condições de estresse de fósforo (Duff et al., 1994).

Besford (1979b) sugeriu duas possíveis funções para o aumento da atividade da fosfatase ácida com a deficiência de fósforo:

(1) Aumento da translocação de fosfato de folhas maduras às jovens: em plantas deficientes de fósforo, as folhas maduras são a principal fonte de fosfato para os tecidos em crescimento. A função do aumento da atividade da fosfatase pode ser hidrolisar ésteres de fosfatos na membrana plasmática ou parede celular e o fósforo inorgânico liberado seria então absorvido e translocado.

(2) Transporte de fósforo inorgânico através da membrana plasmática: o aumento da fosfatase poderia ter uma ligação com a permease, tendo a função de absorver todo o fósforo inorgânico presente no espaço livre do mesófilo. Neste caso, a fosfatase seria importante aos tecidos em expansão e já maduros.

A indução de fosfatases solúveis em plantas deficientes em fósforo inorgânico é um fenômeno comum. Vários autores (Besford 1978, 1979ab; McLachlan, 1982; McLachlan & De Marco, 1982; Silva, 1996) sugeriram que a atividade das fosfatases ácidas determinada em extrato solúvel de folhas tem potencial como indicador bioquímico da deficiência de fósforo. A maior atividade enzimática é devido ao aumento na síntese de fosfatase sob

condições de deficiência de fósforo (Besford, 1979ab); a formação de fosfatase ácida é inibida pelo íon fosfato, por um mecanismo do tipo retroinibição, representando uma forma de regulação destas enzimas (Duff et al., 1994).

O aumento no nível da atividade da fosfatase correlacionou-se bem com um baixo nível de fósforo inorgânico em numerosas espécies e partes de plantas, como por exemplo em folhas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) (Besford, 1979b), de trigo (*Triticum aestivum*) (Barrett-Lennard & Greenway, 1982), em *Eucalyptus diversicolor* (O'Connell & Grove, 1985), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) (Silva & Basso, 1993) e em gramíneas forrageiras (Silva, 1996).

Em tomate, a atividade de fosfatases solúveis foi inversamente relacionada à concentração de fosfato nas folhas. A atividade da fosfatase ácida foi maior em folhas jovens expandidas e decresceu com a idade. Entretanto, quando foi fornecido um suprimento reduzido de fosfato, a atividade da enzima na maioria das folhas maduras foi igual ou maior que em folhas jovens expandidas. Uma observação mais detalhada identificou que o aumento na atividade da fosfatase pareceu estar associada com o nível de fósforo nos tecidos foliares, elevando-se quando a concentração caiu abaixo de $2,5 \text{ g kg}^{-1}$. A atividade foi baixa em concentrações de fosfato acima de $3,0 \text{ g kg}^{-1}$, mas aumentou oito vezes quando a concentração de fosfato caiu para $0,7 \text{ g kg}^{-1}$ (Besford, 1979ab).

Com a determinação da atividade da fosfatase ácida em folhas, a deficiência de fósforo em tomate pode ser detectada antes que os sintomas apareçam e como este teste enzimático pode ser realizado dentro de duas horas a partir do recebimento da amostra foliar, o método é muito mais rápido que o convencional para o estabelecimento do "status" de fósforo da planta (Besford, 1978).

Barrett-Lennard & Greenway (1982), em um experimento com plantas de trigo conduzidas em duas doses de fósforo, observaram que a atividade das

fosfatases solúveis foi afetada pela dose de fósforo e pela idade das folhas. Folhas jovens expandidas, tiveram mais elevadas atividade de fosfatase e concentração de fósforo que folhas maduras. Um baixo nível de fósforo causou um aumento na atividade das fosfatases de 250 a 320 nmol mg⁻¹ proteína min⁻¹ em folhas jovens e maduras, respectivamente. A atividade da fosfatase aumentou duas e meia a três vezes quando a concentração de fósforo caiu de 4 para 1 g kg⁻¹.

De modo adverso, Elliot & Läuchli (1986), ao avaliarem a relação entre a atividade da fosfatase ácida e a concentração de fósforo em folhas de milho, observaram que a atividade da fosfatase ácida foi um bom indicador para as plantas que mostraram sintomas visuais de deficiência em fósforo, mas não foram adequadamente sensíveis para detectar deficiência moderada de fósforo.

Tadano & Sakai (1991) compararam a atividade da fosfatase ácida secretada pelas raízes de nove espécies de plantas cultivadas. Verificaram que essa atividade aumentou com o decréscimo da concentração de fósforo na solução nutritiva, sendo substancialmente mais elevada no estágio inicial de desenvolvimento das plantas.

Szabó-Nagi et al. (1992) estudaram o efeito da deficiência de fósforo em três variedades de trigo, observando que a concentração de fósforo, em situação de deficiência, foi cerca de 30 a 50% do tratamento controle. Paralelamente a esta diminuição na concentração de fósforo, a atividade da fosfatase aumentou nas três variedades testadas.

Estudos da atividade da fosfatase ácida em forrageiras no Brasil são muito escassos. Silva (1996) estudou a atividade da fosfatase em *Panicum maximum*, *Brachiaria decumbens* e *Brachiaria brizantha*, observando que a mesma decrescia de modo linear à medida que aumentava a concentração de fósforo no tecido vegetal, em resposta ao aumento da dose de fósforo em solução nutritiva. Mais recentemente, Silva (1998) observou aumento na atividade de fosfatase ácida foliar em genótipos de *Panicum maximum*, com

aumento de doses de alumínio em solução, resultante da deficiência de fósforo induzida pelo alumínio.

Quando se considera a atividade da fosfatase nas folhas como um indicador potencialmente útil de suficiência ou deficiência de fósforo na planta no campo, as evidências mostram que ela pode ser afetada por condições climáticas, pela idade fisiológica da planta na época da colheita, pelas diferenças entre cultivares e pelo nível de fósforo disponível no solo (Barrett-Lennard & Greenway 1982; Bovi et al., 1998). O fato das diferenças na atividade foliar da fosfatase, ser decorrente de uma variedade de causas, podendo ser prontamente registrada, implica que esta atividade da fosfatase é uma medida muito sensível da concentração de fósforo da planta em uma época específica (McLachlan, 1982).

3 DOSES DE FÓSFORO E ÉPOCAS DE COLETA NA NUTRIÇÃO EM FÓSFORO E NA ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA FOLIAR DOS CAPINS BRAQUIÁRIA E COLONIÃO

3.1 Resumo

Foram realizados dois experimentos em solução nutritiva, em-casa-de-vegetação, sendo um com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) e outro com capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião), no período de setembro de 1997 a janeiro de 1998. Os experimentos constaram, para cada espécie, de um fatorial, no qual foram estudadas três doses de fósforo (3,1; 15,5 e 31,0 mg L⁻¹ de solução nutritiva) e 10 épocas de coleta das plantas. O delineamento adotado foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições. Aos 10 dias após o início do uso das soluções nutritivas completas, iniciou-se a coleta das plantas, a qual foi executada a cada três dias.

A interação entre épocas de coleta e doses de fósforo foi significativa (P<0,01) para a produção de matéria seca e a concentração de fósforo no capim-braquiária e no capim-colonião e para a atividade da fosfatase ácida do capim-braquiária. A atividade da fosfatase ácida do capim-colonião foi afetada pelas doses de fósforo e épocas de coleta. A produção de matéria seca e a concentração de fósforo na planta foi aumentada com o incremento das doses de fósforo, em praticamente todas as épocas de coleta, para ambas as espécies. A atividade foliar da fosfatase ácida em capim-braquiária e capim-colonião apresentou um decréscimo no valor com o aumento das doses de fósforo, situando-se entre 19 e 37 $\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$.

3.2 Summary: PHOSPHORUS RATES AND HARVEST TIMES IN THE PHOSPHORUS STATUS AND LEAF ACID PHOSPHATASE ACTIVITY IN SIGNAL AND COLONIÃO GRASSES

Two experiments were carried out in nutrient solution, one with signal grass (*Brachiaria decumbens* Stapf.) and other with coloniãõ grass (*Panicum maximum* Jacq. cv. Coloniãõ) from September 1997 to January 1998. They consisted, for each species, of a factorial, with three phosphorus rates (3.1, 15.5 and 31.0 mg L⁻¹ of nutrient solution) and 10 harvest times. The experiments were set in complete randomized block design, with four replications. The results showed that the interaction between harvest times and phosphorus rates was significant ($P < 0.01$) for dry matter yield and phosphorus concentration in both forage grasses and for the acid phosphatase activity in signal grass. Acid phosphatase activity of coloniãõ grass was affected by phosphorus rates and harvest times. The yield of shoot and roots and the concentration of phosphorus in the two species increased with phosphorus rates, in almost all harvest times. The acid phosphatase activity presented a decrease with the increase in phosphorus rates, and ranged between 19 and 37 $\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{FW}$.

3.3 Introdução

A ausência ou deficiência de fósforo no substrato traz graves danos à produção das plantas de modo geral, e em gramíneas forrageiras reduz o perfilhamento e retarda o desenvolvimento, fazendo com que o pasto tenha uma cobertura deficiente, abrindo espaços para que espécies invasoras, menos exigentes e mais agressivas, ocupem estes espaços (Werner, 1986). O fósforo é responsável por inúmeras funções metabólicas na planta, participando ativamente nos processos de fotossíntese e respiração, através dos compostos orgânicos ADP e ATP; faz parte também dos ácidos ribonucleico (RNA) e

desoxiribonucleico (DNA), o que o torna indispensável à síntese de proteínas (Marschner, 1995).

A caracterização da deficiência ou suficiência de fósforo é normalmente feita avaliando-se a produção das pastagens no decorrer do ciclo ou ciclos produtivos, complementando-se com análises químicas do solo e da planta e avaliação de sintomas visuais (Epstein, 1975; Besford, 1978). Um método alternativo para monitorar a necessidade de fósforo em culturas consiste no estudo da enzima fosfatase ácida, por ser um método rápido e geralmente sensível.

A atividade de fosfatase em plantas aumenta quando elas se tornam deficientes em fósforo. Quando o crescimento foi limitado por fósforo, a atividade da fosfatase aumentou em folhas de tomate (Besford, 1978, 1979ab) e trigo (Barret-Lennard & Greenway, 1982). Assim, Besford (1978, 1979ab) sugeriu que a atividade de fosfatase pode ter potencial como índice bioquímico de deficiência de fósforo.

Para que a atividade da fosfatase possa ser utilizada como indicador de deficiência precoce de fósforo é necessário que a mesma apresente durante os estágios iniciais de desenvolvimento das culturas, uma diferenciação expressiva. Press & Lee (1983) efetuaram a comparação da atividade inicial da fosfatase ácida em espécies de *Sphagnun*, aos 25 e 50 dias após o início dos tratamentos. A falta de fósforo no substrato levou a um incremento significativo na atividade dessa enzima em todas as espécies após 50 dias. Já a adição de fósforo resultou em decréscimos significativos na atividade da fosfatase ácida em quase todas as espécies aos 25 dias. Aos 50 dias todas as espécies apresentaram redução significativa na atividade da fosfatase ácida.

Estudo realizado com trigo por McLachlan (1984) indicou que a deficiência de fósforo produziu plantas menores, com mais baixa concentração total de fósforo na parte aérea das plantas e aumentou a atividade da fosfatase ácida em folhas jovens completamente expandidas. Ao correlacionar a

atividade da fosfatase ácida com a concentração de fósforo, o autor obteve curvas diferenciadas para as idades de desenvolvimento, indicando ser improvável que um único valor crítico para atividade de fosfatase e concentração de fósforo possa ser associada com adequada nutrição de fósforo para planta.

Embora a metodologia da determinação da fosfatase seja rápida e destrua somente parte da planta, a interpretação da relação entre atividade de fosfatase ácida e rendimento de qualquer cultura relacionada ao nível de fósforo é complicada pelos efeitos da idade da planta, estresse hídrico, interação com outros nutrientes, etc (McLachlan, 1982; Silva, 1998; Bovi et al., 1998).

O objetivo deste experimentos foi determinar a produção de matéria seca, a concentração de fósforo e os níveis de atividade da fosfatase ácida em *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum*, correlacionando essa atividade com a concentração de fósforo no tecido vegetal e com a produção de matéria seca, buscando identificar a melhor época de amostragem em cada espécie de gramínea forrageira estudada.

3.4 Material e Métodos

3.4.1 Localização, espécies forrageiras e época

Foram realizados dois experimentos, em solução nutritiva, na casa-de-vegetação, na área de Nutrição Mineral de Plantas, do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba, SP. Em cada experimento foi utilizada uma espécie de gramínea forrageira, as quais foram capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) e capim-colônia (*Panicum maximum* Jacq. cv. Colônia).

Inicialmente conduziu-se o experimento com *Brachiaria decumbens*, no período de 4 de setembro de 1997 a 2 de novembro de 1997. O experimento em que se utilizou o *Panicum maximum* cv. Colonião teve início em 12 de novembro de 1997 e término em 6 de janeiro de 1998.

3.4.2 Doses de fósforo e delineamento experimental

O experimento para cada espécie constou de um fatorial, no qual estudaram-se três doses de fósforo, correspondentes a 3,1; 15,5 e 31,0 mg L⁻¹ e 10 épocas de coleta das plantas. O delineamento adotado foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições, perfazendo um total de 120 parcelas experimentais para cada espécie.

As soluções nutritivas utilizadas foram preparadas a partir da solução de Sarruge (1975), modificadas para atender as doses de fósforo estudadas, conforme descrito na Tabela 1.

Tabela 1. Volume e concentração das soluções estoques empregadas

Soluções estoques	Volume (mL L ⁻¹) de solução estoque por vaso
KH ₂ PO ₄ 1 mol L ⁻¹	3,1 mg L ⁻¹ = 0,1
	15,5 mg L ⁻¹ = 0,5
	31,0 mg L ⁻¹ = 1,0
KNO ₃ 1 mol L ⁻¹	5
Ca(NO ₃) ₂ 1 mol L ⁻¹	5
MgSO ₄ 1 mol L ⁻¹	2
KCl 1 mol L ⁻¹	3,1 mg L ⁻¹ = 0,9
	15,5 mg L ⁻¹ = 0,5
Micro (-Fe) ¹	1
Fe-EDTA ²	1

¹ A solução de micronutrientes possuía a seguinte composição (g L⁻¹): H₃BO₃ = 2,86; MnCl₂.4H₂O = 1,81; ZnCl₂ = 0,10; CuCl₂ = 0,04; H₂MoO₄ = 0,02.

² Dissolveram-se 26,1 g de EDTA dissódico em 286 mL de NaOH 1 mol L⁻¹, misturando-se com 24,0 g de FeSO₄.7H₂O, arejando-se por uma noite e completando-se a um litro de água deionizada.

3.4.3 Instalação e condução do experimento

As sementes das gramíneas forrageiras foram colocadas para germinar em bandejas de plástico, contendo areia lavada primeiro com água corrente e depois com água destilada. O capim-braquiária foi colocado para germinar em 04 de setembro de 1997 e o capim-colonião em 12 de novembro de 1997.

O transplante das mudas para os vasos contendo sílica realizou-se em 22 de setembro para o capim-braquiária, e em 27 de novembro de 1997 para o capim-colonião, quando as plantas atingiram um tamanho aproximado de 5 cm, apresentando duas folhas. Os vasos possuíam capacidade para três litros, sendo transplantadas 11 mudas para cada vaso. Utilizou-se inicialmente a solução de Sarruge (1975), com uma concentração de 10% da solução completa e o nível de fósforo ajustado para $3,1 \text{ mg L}^{-1}$ para todos os vasos, durante um período de três dias após o transplante. Após este período, utilizou-se a solução completa, com os níveis de fósforo estudados. A renovação da solução nutritiva ocorreu a cada 15 dias, sendo que nesse período, as soluções foram completadas diariamente com água deionizada. Foram executados desbastes das plantas, até deixar cinco plantas por vaso (Figura 1).



Figura 1. Vista geral do experimento com o capim-braquiária.

3.4.4 Coleta do material vegetal

As épocas de coleta iniciaram-se 13 dias após o transplante, prosseguindo em intervalos de três dias. As amostragens foram destrutivas, ou seja, a cada 3 dias foram removidas 12 parcelas do experimento. A coleta do capim-braquiária ocorreu de 6 de outubro a 2 de novembro de 1997 e do capim-colonião foi de 10 de dezembro de 1997 a 6 de janeiro de 1998

Inicialmente, amostrou-se uma porção da lâmina foliar do primeiro par de folhas completamente expandidas, designadas como lâminas de folhas novas, conforme sugerido por Monteiro et al. (1995), a partir do ápice da planta, para a determinação da atividade de fosfatase ácida. O restante do material cortado para a determinação da atividade da enzima (primeiro par de folhas expandidas) foi então utilizado para a determinação da concentração de fósforo.

3.4.4.1 Produção de matéria seca e concentração de fósforo no tecido

Para a obtenção de produção de matéria seca, a planta foi dividida em parte aérea e raízes. A produção total da parte aérea, de ambas as espécies, foi obtida somando-se os valores de peso de material seco das lâminas de folhas novas (utilizadas para as análises da atividade da fosfatase ácida e concentração de fósforo) com o restante da parte aérea. As raízes foram lavadas com jatos de água de torneira para retirada da sílica. Todo o material colhido foi posto a secar em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, por um período de 72 horas.

Após a pesagem do material vegetal colhido e secado, as amostras das lâminas de folhas novas foram moídas para a determinação da concentração de fósforo, com emprego da digestão nítrico-perclórica, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1989).

3.4.4.2 Atividade de fosfatase ácida no tecido foliar

Para a avaliação da atividade de fosfatase ácida foram utilizados 100 mg de fragmentos de 3 mm das lâminas de folhas novas, excluindo-se a nervura principal. Utilizou-se a metodologia descrita por McLachlan (1982), com as seguintes modificações propostas por Silva & Basso (1993): o tecido fresco permaneceu incubado com 8,0 mL de p-nitrofenol $250 \mu\text{mol L}^{-1}$ em tampão acetato de sódio ($\text{CH}_3\text{-COONa}$) $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, com pH ajustado para 4,0 e posteriormente foi colocado em banho-maria por 30 minutos a 30°C . Após este período, pipetaram-se 5,0 mL do sobrenadante, ao qual foram acrescentados 2,0 mL de NaOH 2 mol L^{-1} . As leituras foram realizadas em fotocolorímetro, em comprimento de onda de 410 nm, comparando-se os teores de para-nitrofenol formado na hidrólise e expressando-se a atividade da fosfatase ácida em μmol de substrato hidrolisado (para-nitrofenilfosfato) por hora por grama de tecido vegetal fresco ($\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$).

3.4.5 Análises estatísticas

Os resultados dos dois experimentos foram submetidos à análise de variância e, em função da significância no teste F para doses de fósforo, épocas de coleta e/ou interação entre os fatores estudados, efetuou-se o estudo das regressões. O procedimento estatístico utilizado foi o SAS (SAS Institute, 1988).

Executou-se a análise de regressão polinomial para atividade da fosfatase ácida, quantidade de matéria seca e concentração de fósforo em função das doses de fósforo na solução, bem como teste de comparação de médias (Tukey 5%) para as épocas de coleta. Realizou-se o estudo de correlações entre a concentração de fósforo, produção de matéria seca e atividade de fosfatase ácida, em cada época de coleta.

3.5 Resultados e Discussão

3.5.1 *Brachiaria decumbens*

3.5.1.1 Produção de matéria seca

A interação entre épocas de coleta e doses de fósforo foi significativa ($P < 0,01$) em termos de produção de matéria seca da parte aérea e das raízes do capim-braquiária. A partir do desdobramento dessa interação foram ajustadas equações de regressão para doses de fósforo, em cada época de coleta (Figura 2).

A produção de matéria seca da parte aérea e raízes não diferiu nas primeiras épocas de coleta, quando as plantas apresentaram um pequeno desenvolvimento e as doses de fósforo utilizadas, mesmo a dose mais baixa ($3,1 \text{ mg L}^{-1}$), foram suficientes para que as plantas mostrassem algum crescimento. A partir da terceira data de coleta (aos 19 dias após o transplante) as plantas desenvolvidas nas mais altas doses de fósforo começaram a apresentar maior produção de matéria seca, destacando-se daquelas na dose mais baixa de fósforo (Figura 2).

A produção da parte aérea do capim-braquiária manteve um aumento linear com as doses de fósforo para cada época de coleta avaliada, tendência semelhante à observada para a produção das raízes. Esse comportamento mostra que, no presente experimento, a mais alta dose de fósforo estudada ($31,0 \text{ mg L}^{-1}$) não foi suficiente para que a espécie atingisse um máximo de produção. Estes resultados corroboram os de Almeida (1998), que ao estudar o efeito das mesmas doses de fósforo em solução na produção do capim-braquiária, verificou que essa forrageira apresentou incremento linear na produção de matéria seca da parte aérea do primeiro corte.

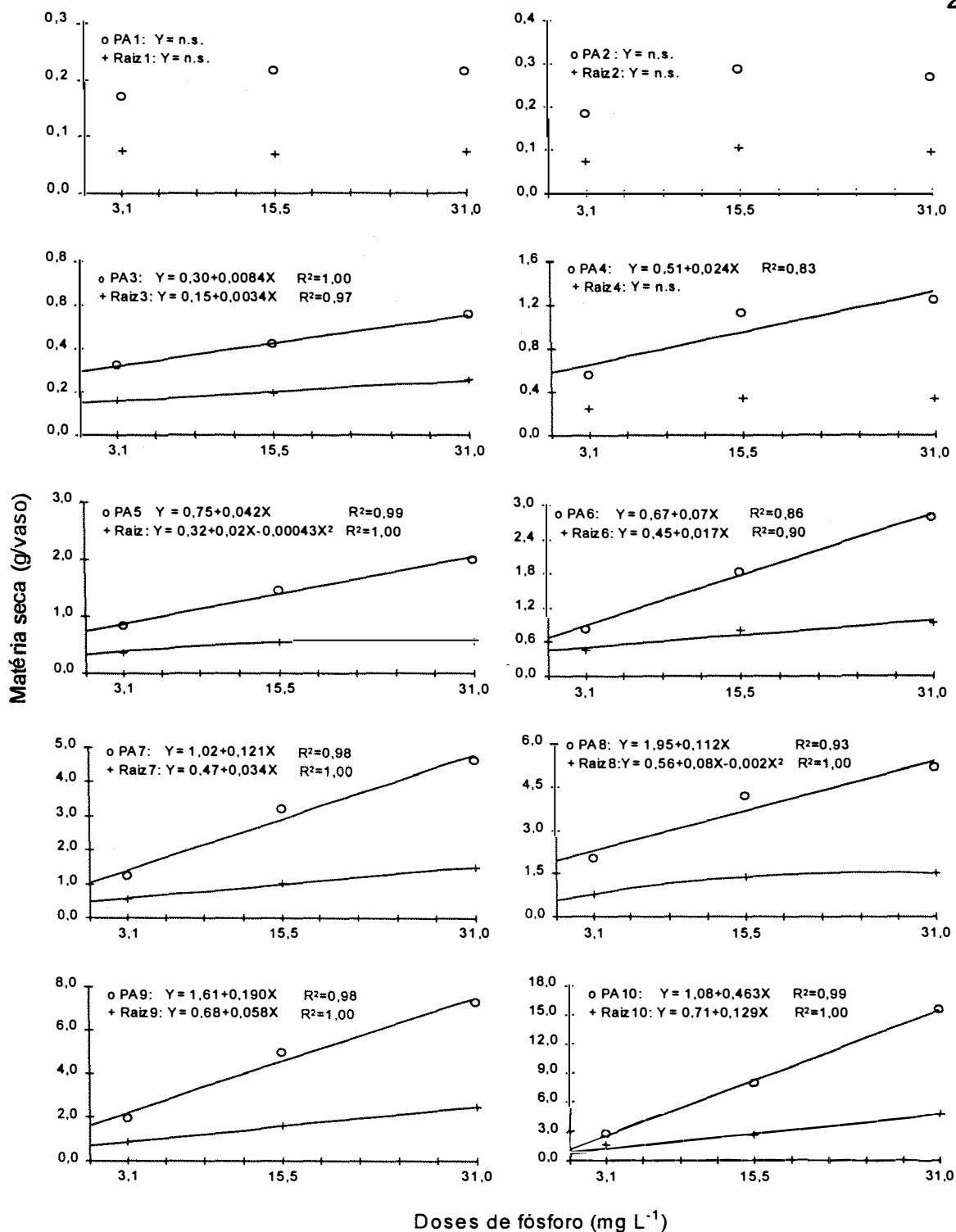


Figura 2. Produção de matéria seca da parte aérea (PA) e raízes (Raiz) de capim-braquiária, nas épocas de coleta, em função das doses de fósforo na solução.

Silva (1996) ao avaliar a produção de matéria seca do capim-braquiária em vários estágios de desenvolvimento, verificou incremento linear na primeira avaliação (aos 14 dias após o transplante), sendo que aos 21 e aos 28 dias após o transplante, a produção de matéria seca comportou-se segundo um modelo de segundo grau. Martinez (1980), ao estudar a produção de capim-braquiária em doses de fósforo na solução até 31,0 mg L⁻¹ observou que o crescimento dessa espécie teve ajuste a modelo quadrático, com resposta somente até a dose de fósforo de 17 mg L⁻¹. Ressalta-se, contudo, que a autora forneceu solução completa de Sarruge (1975) a todas as plântulas de capim-braquiária no período de formação das mudas, o que provavelmente contribuiu na formação de uma reserva de fósforo nas plantas, reduzindo a magnitude da resposta das plantas de capim-braquiária ao fósforo.

Analisando-se a produção de matéria seca do capim-braquiária para cada dose de fósforo, dentro das épocas de corte, pode-se observar que nas doses 3,1 e 15,5 mg L⁻¹ o crescimento das plantas seguiu modelo linear, enquanto na dose 31,0 mg L⁻¹, apresentou resposta quadrática (Figura 3). Apesar de as plantas desenvolvidas nas doses mais baixas terem apresentado uma produção ajustada a modelo linear verifica-se que a produção de matéria seca foi bem inferior nas doses mais baixas em relação à 31,0 mg L⁻¹, principalmente a partir da sétima época de coleta. Nas doses mais baixas de fósforo o crescimento e desenvolvimento do capim-braquiária foi mais lento, ao contrário da dose 31,0 mg L⁻¹, onde as plantas apresentaram um ritmo de crescimento bem mais acelerado.

Almeida (1998), estudando doses de fósforo idênticas ao do presente experimento, relatou que o capim-braquiária na dose 31 mg L⁻¹ abreviou o ciclo de vida dos perfilhos no primeiro corte. Esse fenômeno não foi observado em doses mais baixas de fósforo na solução. No primeiro corte, a espécie encontrava-se em plena fase de alongamento dos colmos para emissão da inflorescência, sendo essa a fase em que ocorre a maior taxa de produção de

massa seca, confirmada pelo incremento na produção do capim-braquiária no presente experimento nas últimas épocas de corte.

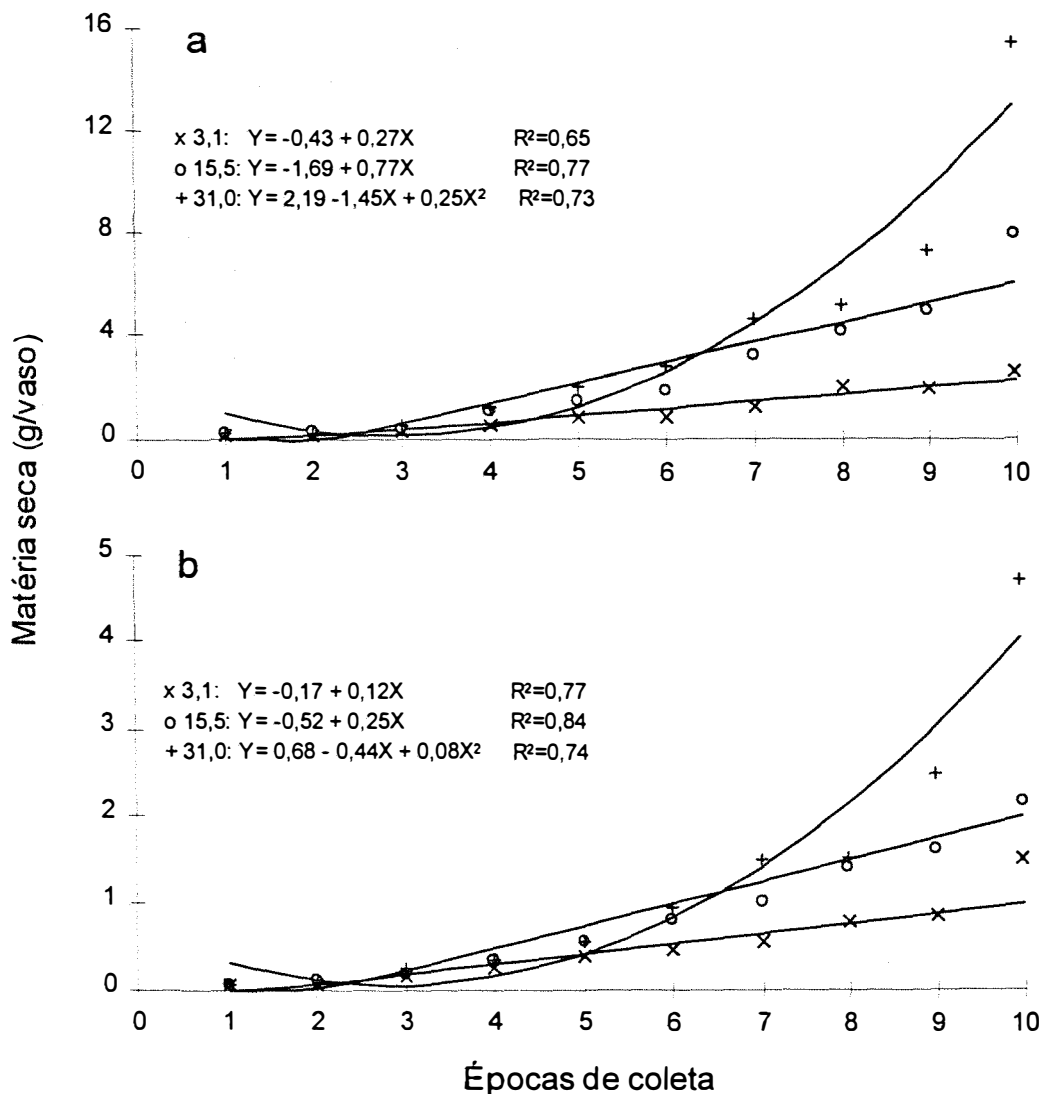


Figura 3. Produção de matéria seca da parte aérea (a) e das raízes (b) de capim-braquiária nas doses de fósforo na solução, em função das épocas de coleta.

O capim-braquiária mostrou, durante as primeiras épocas de coleta (até os 22 dias após o transplante), similar produção de matéria seca dessa

ferrageira em todas as doses de fósforo. Isso pode ser reflexo de que uma relativamente baixa concentração de fósforo totalmente disponibilizada pode atender a demanda de plântulas pelo nutriente. À medida que as plantas foram se desenvolvendo e a exigência em fósforo foi se tornando maior (a fim de suprir o crescimento vegetal dessas plantas), a diferença na produção de matéria seca nas doses de fósforo foi se acentuando. Com 40 dias após o transplante, as plantas crescidas na dose 31,0 mg L⁻¹ apresentavam visivelmente uma produção bem superior às demais doses de 3,1 e 15,5 mg L⁻¹.

3.5.1.2 Concentração de fósforo no tecido foliar :

A interação entre as doses de fósforo na solução nutritiva e as épocas de coleta foi significativa ($P < 0,01$) para a concentração de fósforo nas folhas do capim-braquiária. Segundo Monteiro et al. (1995) as lâminas das duas folhas mais novas completamente expandidas (lâminas de folhas novas) apresentam maior correlação com a produção de massa seca do que outras partes da planta e se constituem na parte da planta que melhor informa quanto o estado nutricional dessa ferrageira.

Foram ajustadas equações de regressão a concentração de fósforo nas lâminas de folhas novas, em função das doses de fósforo em solução em cada data de coleta. Como pode ser observado na Figura 4, até a quarta época de coleta (aos 22 dias após o transplante) houve um incremento linear na concentração de fósforo com o aumento das doses de fósforo. Após essa coleta, a concentração de fósforo no capim-braquiária ajustou-se a um modelo de regressão de segundo grau. A partir da quinta coleta, a dose 15 mg L⁻¹ apresentou concentração de fósforo mais elevada que a dose 31,0 mg L⁻¹, podendo-se inferir que ocorreu efeito de diluição, uma vez que ocorreram aumentos lineares na produção de matéria seca até a dose 31,0 mg L⁻¹ de solução.

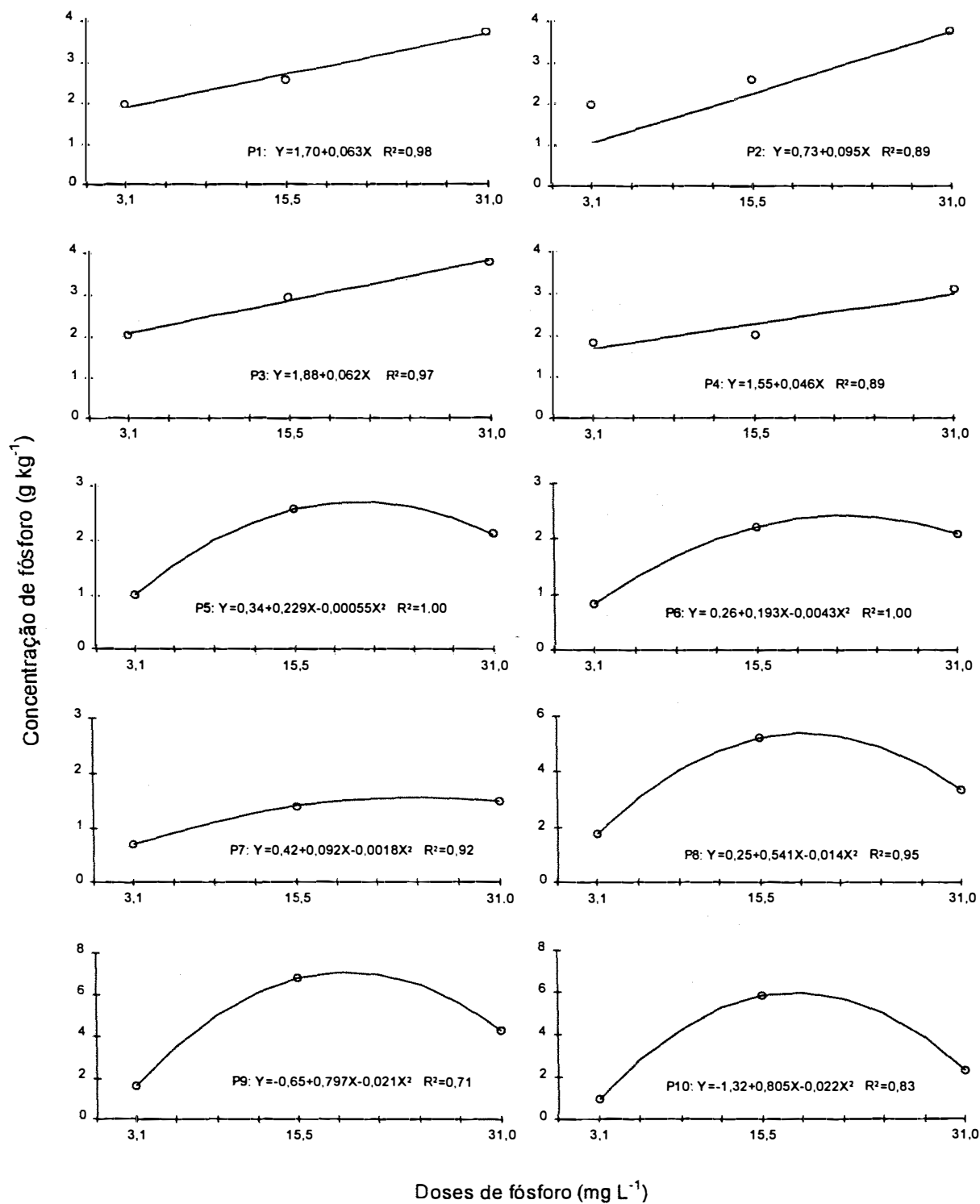


Figura 4. Concentração de fósforo nas lâminas de folhas novas de capim-braquiária, nas épocas de coleta, em função das doses de fósforo na solução.

A concentração de fósforo em função das doses de fósforo na solução e nas 10 épocas de coleta variou de 0,69 até 6,77 g kg⁻¹ (Tabela 2). Martinez (1980) também observou aumentos lineares na concentração de fósforo nas folhas, os quais atingiram concentrações de até 6,2 g kg⁻¹, como observados no presente experimento. Por sua vez, Almeida (1998) observou concentração máxima de fósforo de cerca de 2,25 g kg⁻¹ em capim-braquiária.

Verificou-se que a concentração mais elevada foi determinada nos estágios finais de desenvolvimento, quando a planta estava aproximadamente há 40 dias nos vasos após o transplante. Esses resultados estão em desacordo com os citados em literatura, nos quais ocorre redução na concentração de fósforo na planta, à medida que esta atinge avança em idade (Fernandez & Ascencio, 1994, Silva, 1996).

Tabela 2. Concentração de fósforo nas lâminas de folhas novas de capim-braquiária nas doses de fósforo, em função das épocas de coleta.

Épocas de coleta	Doses de fósforo (mg L ⁻¹)		
	3,1	15,5	31,0
	g kg ⁻¹		
1	1,97 a	2,55 c	3,72 a
2	1,13 abcd	2,03 c	3,78 a
3	2,03 a	2,94 bc	3,77 a
4	1,81 ab	1,98 c	3,06 ab
5	0,99 bcd	2,56 c	2,12 bc
6	0,82 cd	2,21 c	2,08 bc
7	0,69 d	1,40 c	1,50 c
8	1,79 ab	5,21 ab	3,32 ab
9	1,62 abc	6,77 a	4,30 a
10	0,96 bcd	5,81 a	2,26 bc

Valores seguidos pela mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Parte da elevação na concentração de fósforo na planta pode ser decorrente da combinação das épocas das trocas de solução nutritiva e épocas de coleta. A renovação das soluções nutritivas ocorreu em intervalos de 14 dias, havendo portanto, períodos de coleta coincidentes com maior disponibilidade de fósforo na solução, decorrente das trocas de soluções esgotadas por soluções novas. Esse comportamento pode ser mais bem exemplificado quando se observa que as mais baixas concentrações de fósforo foram determinadas na sexta e sétima coleta, enquanto as mais elevadas por ocasião da terceira e oitava coleta para a dose $3,1 \text{ mg L}^{-1}$, e na terceira e nona coleta para as demais doses, as quais foram, respectivamente, anteriores e posteriores às trocas de solução nutritiva.

McLachlan (1984), trabalhando com fornecimento constante de fósforo em trigo, observou que plantas mais velhas apresentaram um aumento na concentração de fósforo. A aplicação contínua de fósforo possivelmente explica o incremento na concentração de fósforo na planta com a idade, uma vez que uma aplicação somente no início geralmente leva a um decréscimo na concentração de fósforo com o avanço da maturidade.

3.5.1.3 Atividade da fosfatase ácida foliar

De forma similar aos outros parâmetros avaliados (matéria seca e concentração de fósforo), a atividade da fosfatase ácida no capim-braquiária mostrou significância ($P < 0,01$) para a interação entre as épocas de coleta e as doses de fósforo. Não houve efeito das doses de fósforo em solução na atividade da fosfatase para as épocas de coleta 1, 2, 3 e 5. Para as seis outras épocas de avaliação foram ajustadas equações de regressão de primeiro e segundo grau, para a atividade enzimática em função das doses de fósforo na solução (Figura 5).

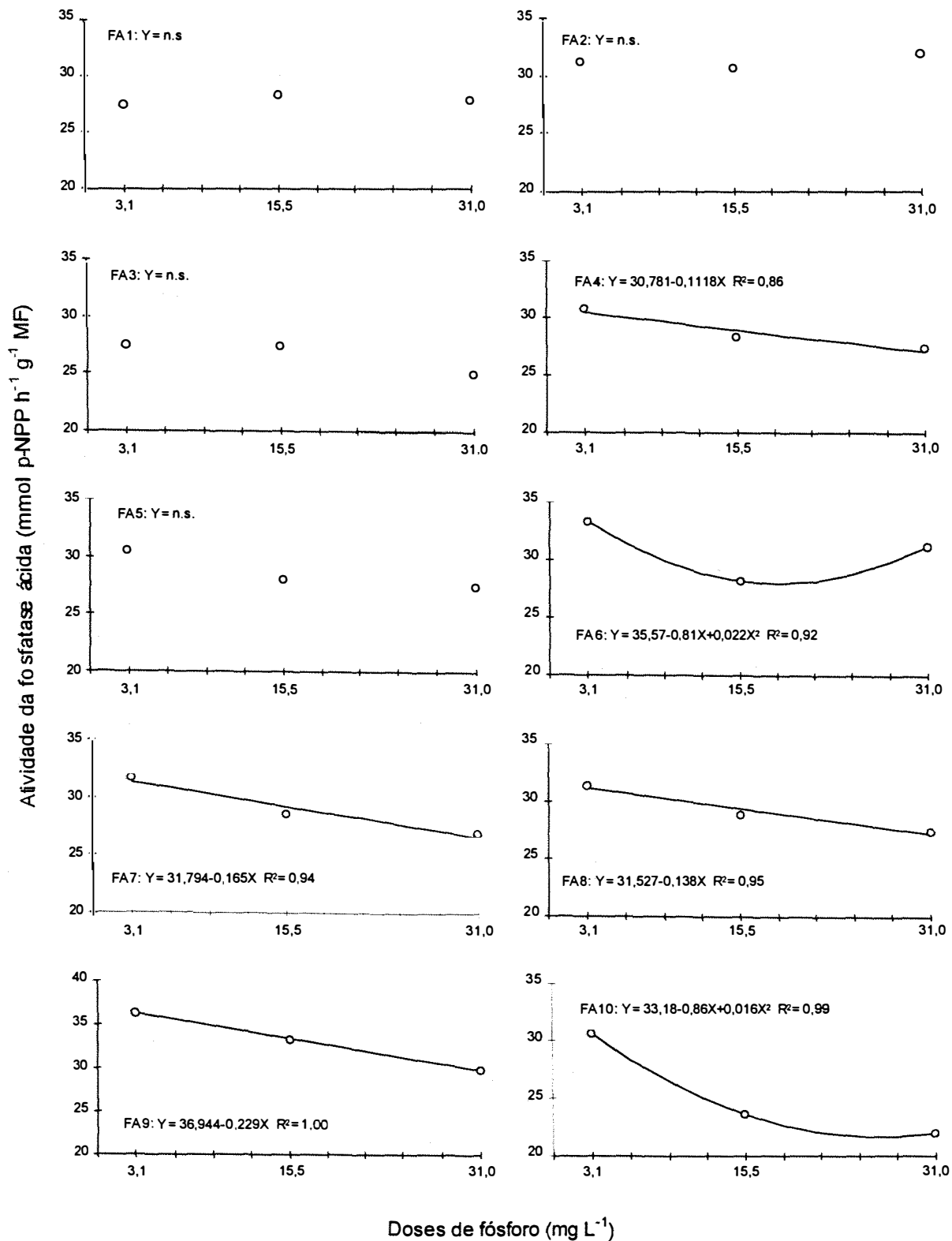


Figura 5. Atividade da fosfatase ácida de capim-braquiária, nas épocas de coleta, em função das doses de fósforo na solução.

Elliott & Lauchli (1986), trabalharam com milho (*Zea mays*) e relataram que não houve diferença significativa entre doses de fósforo quando avaliada aos 36 dias após o plantio, embora a concentração de fósforo no tecido foliar fosse fortemente afetada pelo fornecimento de fósforo. Contudo, aos 42 dias após o transplante houve acréscimo significativo na atividade da fosfatase ácida na dose mais baixa de fósforo ($5 \mu\text{mol L}^{-1}$), com os níveis sendo cerca de três vezes mais elevados que nas doses 25 e $75 \mu\text{mol L}^{-1}$. Os autores ressaltaram que a técnica não foi adequadamente sensível à deficiência moderada ou incipiente de fósforo, e que maior sensibilidade tem sido obtida em plantas com maiores taxas de crescimento.

De modo geral, a atividade foliar da fosfatase ácida em braquiária apresentou um decréscimo no valor com o aumento das doses de fósforo, situando-se entre 21 e $37 \mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$ e assemelhando-se aos valores obtidos por Press & Lee (1983) em várias espécies de *Sphagnum* (que variaram entre 16 e $68 \mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$). Os decréscimos constatados não foram acentuados, exceto na última época de coleta, quando a atividade reduziu de aproximadamente 31 para $22 \mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$. Silva (1996) observou reduções significativas na atividade da fosfatase em capim-braquiária à medida que o concentração de fósforo em solução era elevado de 0,1 para 10mg L^{-1} .

Os valores de atividade de fosfatase ácida para as doses de fósforo em cada época de coleta não seguiram um padrão definido (Tabela 3). De modo geral, autores tem observado aumento na atividade da fosfatase ácida com a idade das plantas, devido à redução na concentração de fósforo com a idade (Elliott & Lauchli, 1986; Fernandez & Ascencio, 1994; Silva, 1996).

No presente estudo não foi observada a redução na concentração de fósforo com o avanço da idade (Tabela 2), o que pode ter contribuído para que

os valores da atividade da fosfatase ácida determinados não tenham apresentado uma tendência de aumento com a idade das plantas.

Tabela 3. Atividade da fosfatase ácida de capim-braquiária nas doses de fósforo em solução, em função das épocas de coleta.

Épocas de coleta	Doses de fósforo (mg L ⁻¹)		
	3,1	15,5	31,0
	(μmol p-NPP h ⁻¹ g ⁻¹ MF)		
1	27,38 c	28,28 bc	27,88 bcd
2	31,27 abc	30,71 abc	31,95 ab
3	27,64 bc	27,54 cd	24,92 de
4	30,84 abc	28,18 bc	27,44 cd
5	33,53 a	31,71 ab	32,49 a
6	33,27 ab	28,24 bc	31,32 abc
7	31,64 abc	28,60 bc	26,97 cd
8	31,39 abc	28,87 bc	27,48 bcd
9	36,24 a	33,39 a	29,85 abc
10	30,66 abc	23,69 d	22,00 e

* Valores seguidos pela mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

As correlações entre a produção de matéria seca da parte aérea, a concentração de fósforo e atividade da fosfatase ácida foram calculadas em cada época de coleta (Tabela 4). Não foi obtido coeficiente de correlação significativo entre a atividade da fosfatase ácida, quando consideradas todas as épocas de corte em conjunto com qualquer das outras variáveis analisadas.

Quando se considerou cada época de coleta separadamente, foram observados coeficientes de correlação significativos entre a atividade da fosfatase ácida e a produção de matéria seca da parte aérea em algumas épocas de coleta, particularmente a partir da sétima avaliação. Para

concentração de fósforo e a atividade da fosfatase, a correlação mostrou-se significativa somente para a quinta, sexta e sétima épocas de coleta das plantas (Tabela 4).

McLachlan & De Marco (1982), trabalhando com trigo, e Silva (1996), com braquiária, encontraram correlação significativa negativa entre a atividade da fosfatase ácida e a absorção de fósforo, atividade da fosfatase ácida e a concentração de fósforo no tecido vegetal, em todas as épocas de avaliação.

Tabela 4. Coeficientes de correlação entre a atividade da fosfatase ácida e a produção de matéria seca da parte aérea e concentração de fósforo nas lâminas de folhas novas, em função das épocas de coleta.

Épocas de coleta	Parâmetros avaliados	
	Matéria seca da parte aérea	Concentração de fósforo
1	n.s.	n.s.
2	n.s.	n.s.
3	n.s.	n.s.
4	-0,79**	n.s.
5	n.s.	-0,67*
6	n.s.	-0,75**
7	-0,93**	-0,82**
8	-0,75**	n.s.
9	-0,68*	n.s.
10	-0,82**	n.s.

n.s., *, **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1%, pelo teste de Pearson, respectivamente

Esses resultados permitem destacar que, no caso de capim-braquiária, nos estágios iniciais de desenvolvimento a atividade da fosfatase ácida não foi capaz de diferenciar deficiência ou suficiência de fósforo à planta, o que foi

comprovado pela ausência de correlação entre a atividade da fosfatase e os parâmetros analisados. Assim, somente em estágios de desenvolvimento mais avançados, quando a planta também começa a apresentar diferenciação na produção de matéria seca, a enzima foi capaz de contribuir na diagnose nutricional de fósforo dessa forrageira.

3.5.2 *Panicum maximum* cv. coloniã

3.5.2.1 Produção de matéria seca

A interação entre épocas de coleta e doses de fósforo foi significativa ($P < 0,01$) em termos de produção de matéria seca da parte aérea e das raízes do capim-coloniã. Foram ajustadas equações de regressão para essas produções em função das doses de fósforo (Figura 6), e essas equações apresentaram comportamento variável para cada época de coleta. De modo geral, verifica-se que a produção de matéria seca do capim-coloniã foi crescente com o incremento das doses de fósforo, em praticamente todas as épocas de coleta.

Silva (1996) observou um incremento linear na produção de matéria seca da parte aérea com as doses de fósforo para o *Panicum maximum* cv. IZ-1. O mesmo autor, ao avaliar a produção dessa espécie em vários estágios de desenvolvimento, verificou que essa produção apresentou incremento linear na primeira avaliação (aos 14 dias após o transplante), enquanto que aos 21 e aos 28 dias após o transplante, a produção de matéria seca teve ajuste quadrático.

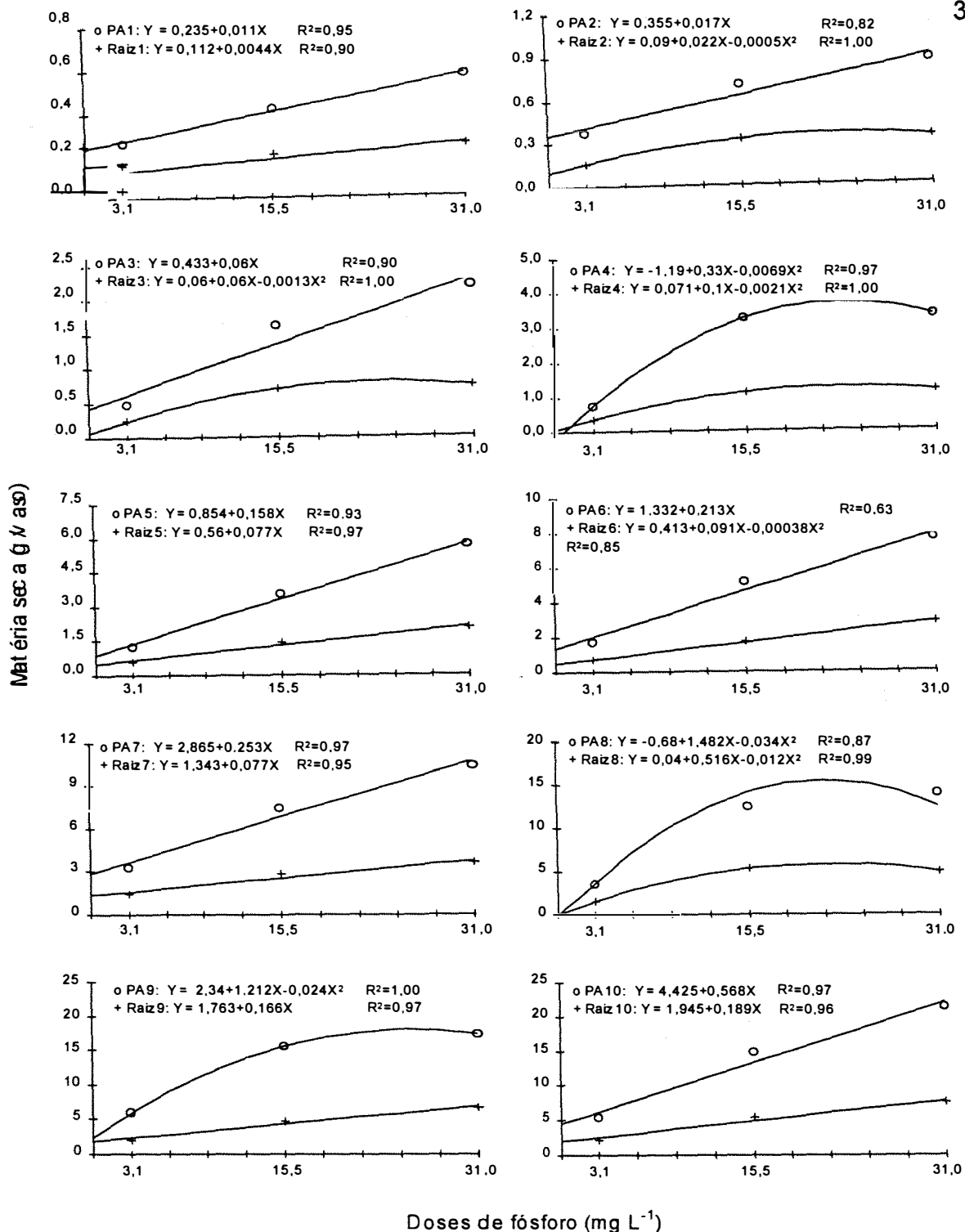


Figura 6. Produção de matéria seca da parte aérea (PA) e raízes (Raiz) de capim-colonião, nas épocas de coleta, em função das doses de fósforo na solução.

McLachlan et al. (1987) verificaram que o rendimento de trigo aumentou com a adição de fósforo ao substrato e com a idade da planta, ressaltando que o efeito da idade na produção foi maior nas plantas não deficientes em fósforo. A análise da curva de crescimento dessa cultura indicou que, na primeira coleta (aos 26 dias de idade), a diferença em produção na presença e ausência de fósforo foi muito inferior à observada por ocasião da última coleta (47 dias de idade).

Foram obtidas curvas de crescimento em função de cada dose de fósforo e para as épocas de coleta, as quais ajustaram-se a modelo linear em todos os casos (Figura 7). O incremento linear na produção de matéria seca, inclusive na dose de fósforo mais elevada, até a última data de coleta, indica que a espécie não atingiu o pleno desenvolvimento durante o período estudado ou que a dose de 31,0 mg L⁻¹ retardou esse crescimento. O capim-colonião apresentou diferenças na produção de matéria seca da parte aérea e raízes em função das doses de fósforo aplicadas a partir das primeiras épocas de coleta indicando que essa espécie necessita de quantidades elevadas de fósforo já nas fases iniciais de desenvolvimento, para atender ao seu crescimento rápido e ativo, como destacado por Werner & Haag (1972).

Martinez (1980) relatou que o capim-colonião cultivado em solução nutritiva apresentou diferenças marcantes no desenvolvimento das plantas em função das doses de fósforo desde os estágios iniciais do experimento, concordando com os resultados de Monteiro & Werner (1977) para a mesma espécie.

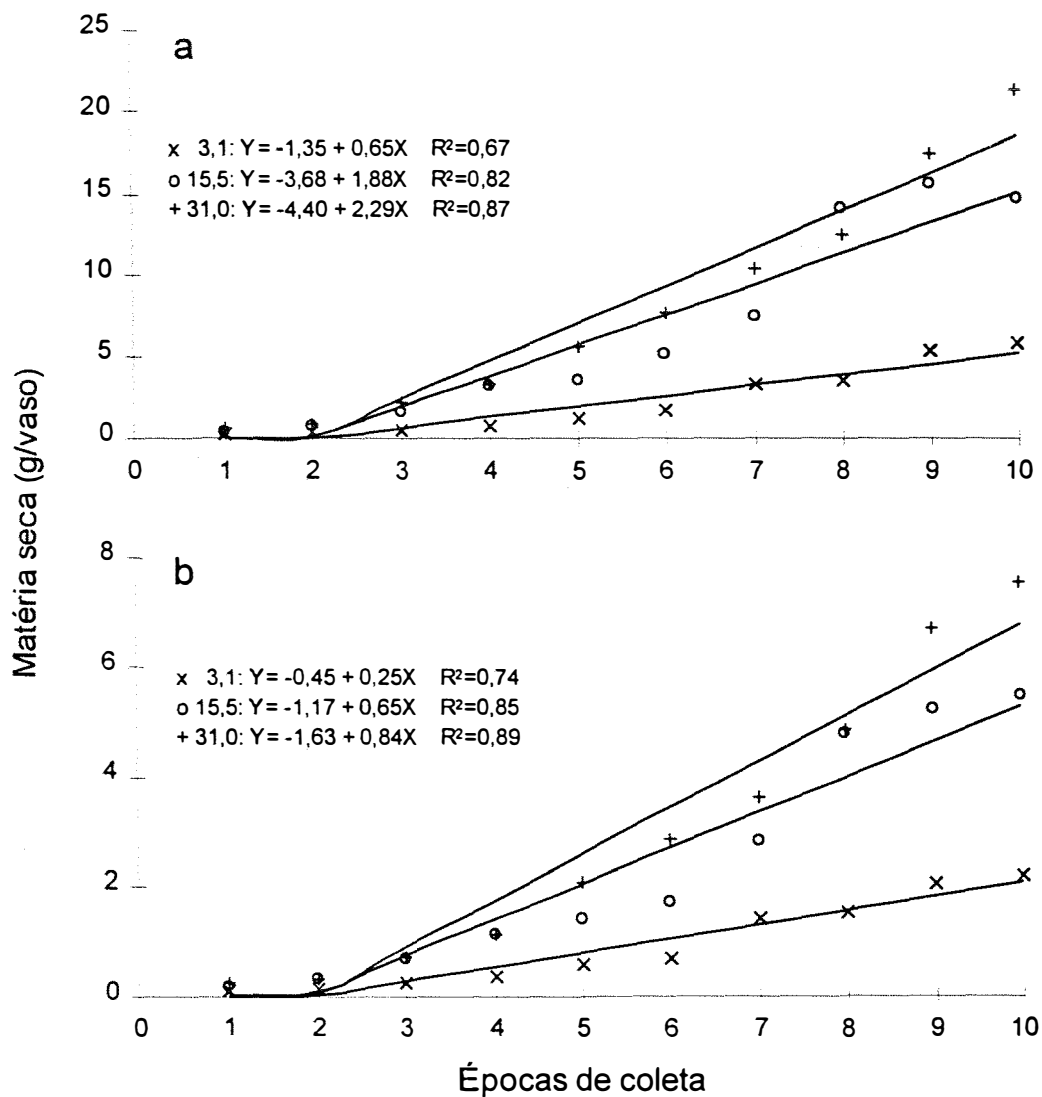


Figura 7. Produção de matéria seca da parte aérea (a) e das raízes (b) de capim-colonião, nas doses de fósforo na solução, em função das épocas de coleta das plantas.

3.5.2.2 Concentração de fósforo no tecido foliar

A interação entre as doses de fósforo e as épocas de coleta foi significativa ($P < 0,01$) para a concentração de fósforo. Os resultados dessa

concentração foram ajustados a equações de regressão, para cada data de coleta, em função das doses de fósforo em solução (Figura 8).

Verifica-se na Figura 8 que a concentração de fósforo no capim-colonião ajustou-se a modelos lineares para com as doses de fósforo na solução e em todas as épocas de coleta avaliadas, concordando com Silva (1996) que encontrou também aumentos lineares na concentração de fósforo com o incremento das doses de fósforo de 0,1 a 10 mg L⁻¹ na solução nutritiva em *Panicum maximum* cv. IZ-1, nos vários estágios de desenvolvimento da planta.

A concentração de fósforo variou de 0,53 g kg⁻¹ até um máximo de 4,75 g kg⁻¹ sendo os valores absolutos inferiores aos observados para o capim-braquiária. A concentração de fósforo apresentou valor mais elevado nos estágios iniciais de desenvolvimento da forrageira, o que se interpreta como um efeito de diluição, em virtude da maior produção de matéria seca do capim-colonião com o progredir a idade das plantas (Tabela 5).

As concentrações referidas para o fósforo estão dentro da faixa observada para a espécie na literatura, em doses semelhantes de fósforo na solução nutritiva. Essas concentrações variaram de 0,7 a 2,8 g kg⁻¹ no experimento conduzido por Werner & Haag (1972). Já Martinez (1980) encontrou concentrações de fósforo de 0,51 g kg⁻¹ para a dose de fósforo de 1,94 mg L⁻¹ e 4,64 g kg⁻¹ para 31,0 mg L⁻¹. Pedreira & Silveira (1972), estudando a variação na composição mineral do capim-colonião, verificaram uma queda na concentração de fósforo de 2,3 g kg⁻¹ aos 26 dias de crescimento para 0,6 g kg⁻¹ aos 200 dias de idade dessa forrageira.

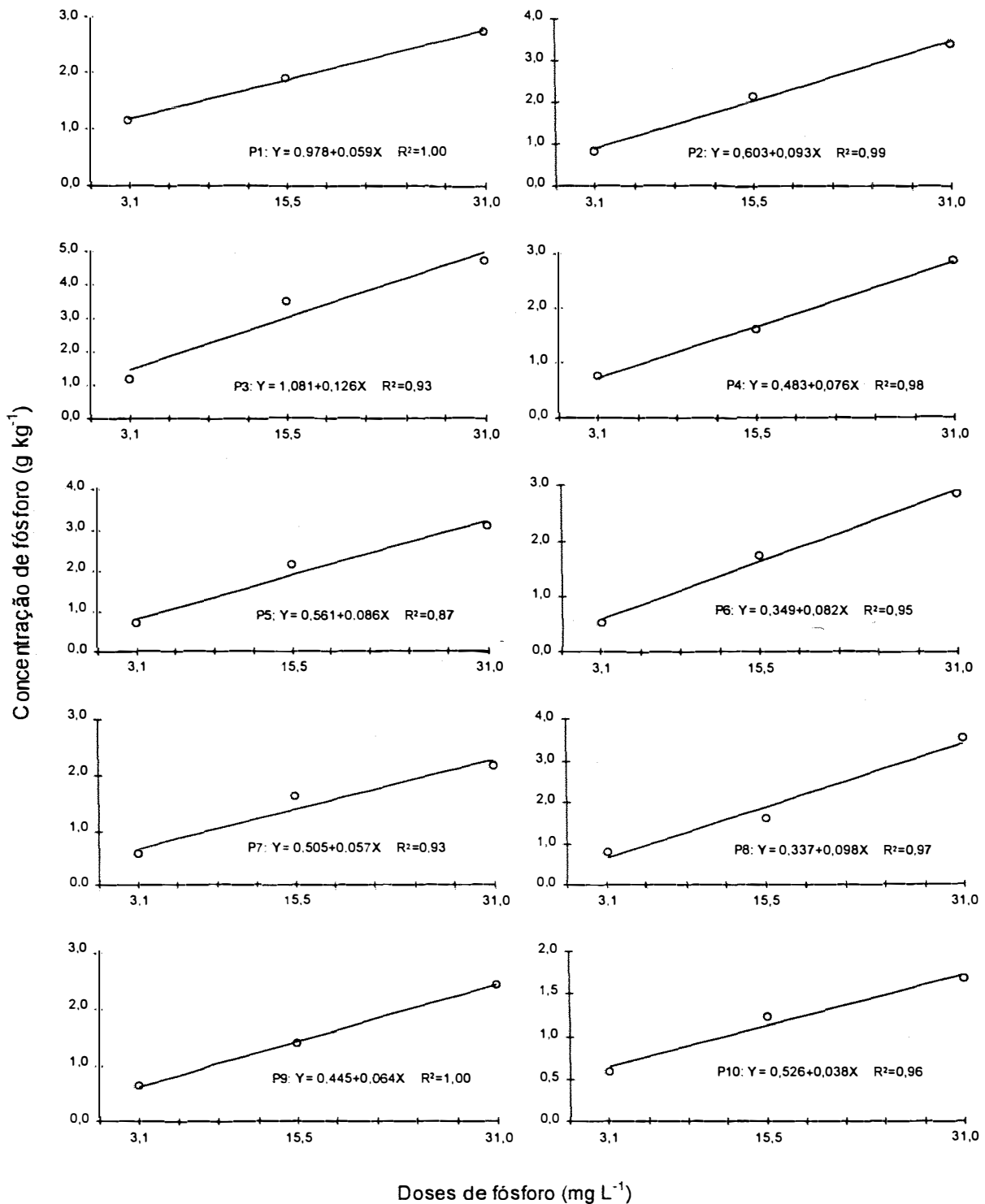


Figura 8. Concentração de fósforo nas lâminas de folhas novas de capim-colonião, nas épocas de coleta, em função das doses de fósforo na solução.

No presente experimento observou-se que a concentração de fósforo mais elevada foi determinada por ocasião da terceira coleta, logo após a segunda renovação de solução nutritiva, quando a planta dispunha do nutriente mais prontamente disponível. Em todas as doses de fósforo verificou-se um ligeiro aumento da concentração de fósforo na oitava coleta, explicado pela coincidência da época de coleta ser posterior à renovação da solução nutritiva, ocasião em que a planta teria apresentado um aumento momentâneo na concentração de fósforo no tecido, devido a um incremento na disponibilidade imediata de fósforo na solução.

Tabela 5. Concentração de fósforo nas lâminas de folhas novas de capim-colonião nas doses de fósforo, em função das épocas de coleta.

Épocas de coleta	Doses de fósforo (mg L ⁻¹)		
	3,1	15,5	31,0
	g kg ⁻¹		
1	1,14 a	1,92 b	2,78 b
2	0,83 abc	2,14 b	3,43 ab
3	1,18 a	3,55 a	4,75 a
4	0,75 bc	1,60 b	2,87 b
5	0,68 c	2,17 b	3,12 ab
6	0,53 c	1,74 b	2,84 b
7	0,55 c	1,61 b	2,16 b
8	0,79 abc	1,59 b	3,50 ab
9	0,66 c	1,40 b	2,43 b
10	0,58 c	1,22 b	1,65 b

* Valores seguidos pela mesma letra, dentro de cada coluna, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A redução na concentração de fósforo no capim-colonião, com o avanço da idade foi também observada por Haag et al. (1967), os quais citaram

o decréscimo na concentração de fósforo na haste, folha e planta inteira. com o aumento da idade das plantas. A marcha de absorção do capim-colonião indicou que os teores de fósforo diminuíram de cerca de $3,6 \text{ g kg}^{-1}$ aos 28 dias para $2,3 \text{ g kg}^{-1}$ aos 56 dias e aproximadamente $2,0 \text{ g kg}^{-1}$ aos 84 dias de idade. Gomide et al. (1969) também constataram declínio na concentração de fósforo em capim-colonião à medida que as plantas evoluíam para a maturidade, apesar de terem recebido adequada adubação fosfatada.

3.5.2.3 Atividade da fosfatase ácida foliar

A interação entre doses de fósforo e épocas de coleta não foi significativa para atividade da fosfatase ácida no capim-colonião. Essa atividade foi significativamente ($P < 0,01$) afetada pelas doses de fósforo e pelas épocas de coleta independentemente.

Em função das doses de fósforo ajustou-se a atividade dessa enzima a um modelo de segundo grau (Figura 9), verificando-se redução da atividade da fosfatase com o aumento da dose de fósforo em solução nutritiva. Os valores de fosfatase encontrados localizaram-se entre 24 a $31 \mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, semelhantes aos determinados por Silva (1998) para vários acessos de *Panicum maximum*, nos quais a atividade da fosfatase esteve entre 26 e $40 \mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$.

A faixa de variação para a atividade da fosfatase ácida encontrada no presente experimento é muito estreita, tornando difícil a identificação de deficiência de fósforo na cultura, a partir da atividade da fosfatase ácida. Fernandez & Ascencio (1994) relataram não terem encontrado efeito significativo da aplicação das doses de fósforo sobre a atividade de fosfatase ácida em feijão (*Phaseolis vulgaris*) e caupi (*Vigna unguiculata*), ao contrário do citado frequentemente na literatura com diversas outras culturas, como trigo (McLachlan & de Marco, 1982; Barret-Lennard et al., 1982), tomate (Besford,

1979ab) e cana-de-açúcar (Silva & Basso, 1993). Fernandez & Ascencio (1994) concluíram que a atividade da fosfatase ácida aparentemente não é um bom indicador de estresse de fósforo em feijão e caupi sob condições de deficiência leve de fósforo.

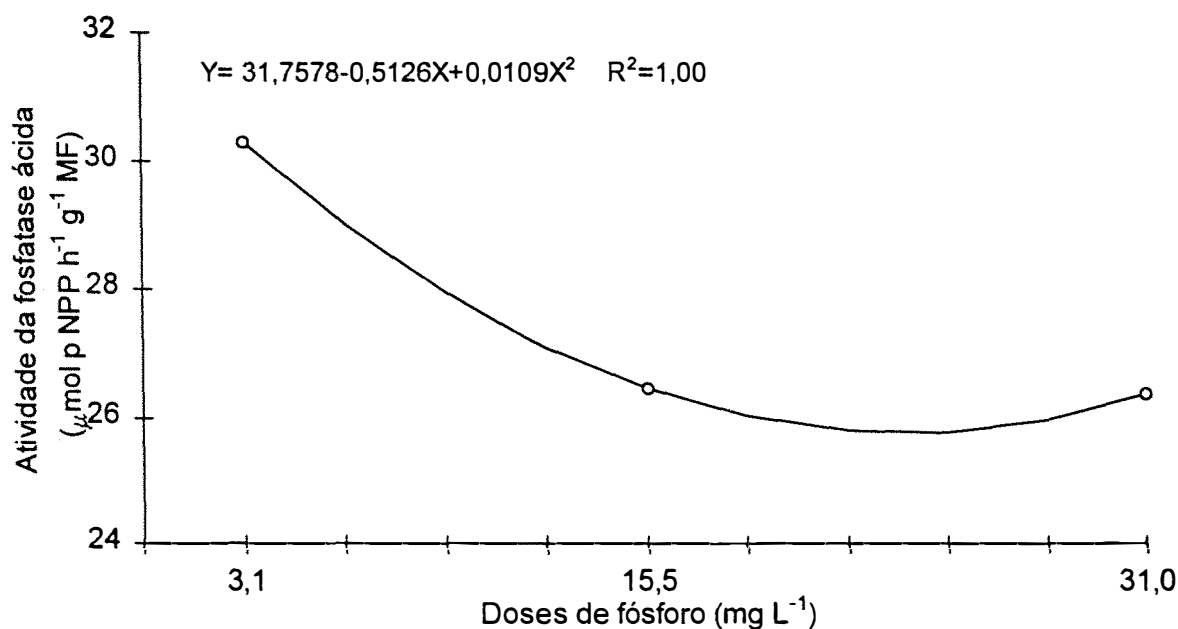


Figura 9. Atividade da fosfatase ácida do capim-colonião em função das doses de fósforo na solução.

Comparou-se, através de teste de médias, a atividade dessa enzima no tecido foliar de capim-colonião em cada época de coleta. Semelhante ao ocorrido com o capim-braquiária, a atividade da fosfatase ácida não seguiu um padrão definido. Os mais elevados valores para essa variável foram encontrados na segunda e terceira época de coleta e os mais baixos valores por ocasião da última coleta (Figura 10).

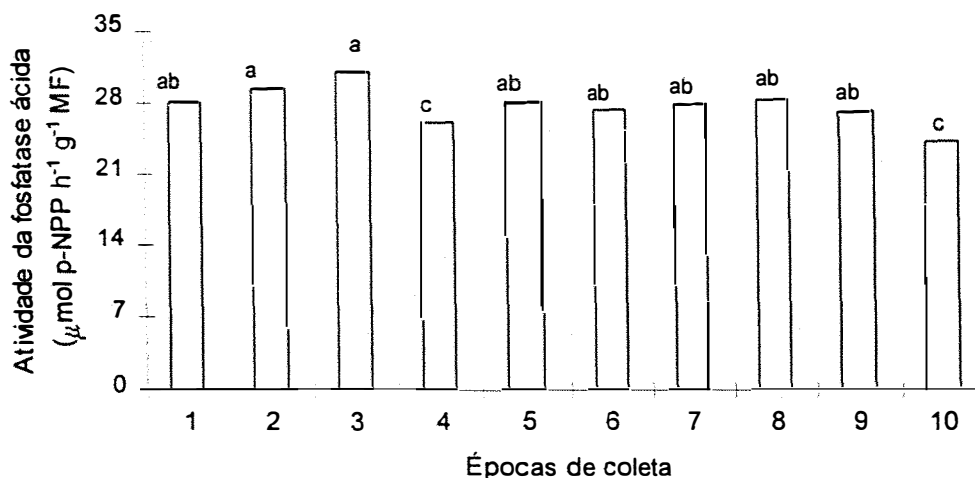


Figura 10. Atividade da fosfatase ácida do capim-colonião, em função das épocas de coleta (Valores seguidos pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%).

De acordo com McLachlan et al. (1987), a atividade da fosfatase ácida esteve relacionada à quantidade de fósforo adicionada e a idade das plantas e à medida que as plantas atingiam a maturidade, o nível geral da atividade da fosfatase aumentava. Segundo esses autores, devido a essa variação no parâmetro com a idade, não é possível encontrar um valor único de atividade de fosfatase que possa ser relacionado ao rendimento da cultura, uma vez que o nível de fósforo necessário para atingir 90% do máximo rendimento também varia com a época de coleta.

Quando considerada a correlação da produção de matéria seca da parte aérea com a atividade da fosfatase ácida, para cada época de coleta, notou-se que a mesma foi negativa e teve coeficientes relativamente elevados, quando comparados aos obtidos por capim-braquiária, nas mesmas condições (Tabela 6). Silva (1996) relatou correlação negativa mais elevada para o *Panicum maximum* cv IZ-1 que para o capim-braquiária entre a atividade da fosfatase e a

produção de matéria seca e concentração de fósforo, com valores de -0,97 e -0,86, respectivamente.

Tabela 6. Coeficientes de correlação entre a atividade da fosfatase ácida e a produção de matéria seca da parte aérea e concentração de fósforo em capim-colonião, em função das épocas de coleta.

Épocas de coleta	Parâmetros avaliados	
	Matéria seca da parte aérea	Concentração de fósforo
1	n.s	n.s
2	-0,65*	n.s
3	n.s	n.s
4	-0,76**	n.s
5	-0,70*	n.s
6	-0,74**	n.s
7	-0,64*	n.s
8	-0,83**	n.s
9	-0,88*	n.s
10	n.s	-0,79**

n.s., *, **: não significativo, significativo a 5% e significativo a 1%, pelo teste de Pearson, respectivamente

Exceto em duas épocas nos estágios iniciais de crescimento e por ocasião da última época de coleta, a correlação entre a produção de matéria seca da parte aérea e a atividade da fosfatase ácida foi significativa ($P < 0,05$). Contudo, essa mesma correlação não se mostrou significativa entre a atividade da fosfatase e a concentração de fósforo no tecido foliar do capim-colonião, exceto na última data de coleta. McLachlan (1982) observou elevado coeficiente de correlação entre a atividade da fosfatase ácida e o rendimento final de grãos em trigo, particularmente nos estágios iniciais de desenvolvimento, não encontrando correlação nas fases finais. No mesmo

experimento, McLachlan (1982) verificou elevada correlação entre a concentração de fósforo na parte aérea das plantas e atividade da fosfatase ácida na fase inicial, sendo esta correlação menos expressiva quando do emborrachamento e não significativa na antese do trigo, ao contrário do verificado em capim-colonião.

3.6 Conclusões

- Até os 19 dias após o transplântio o capim-braquiária não mostrou efeito das doses do nutriente na produção da planta e na atividade da fosfatase ácida nas lâminas das folhas novas. A partir daquela época, a produção do capim-braquiária foi linearmente incrementada pelas doses de fósforo.

- O capim-colonião mostrou respostas expressivas em produção da planta e concentração de fósforo nas folhas às doses de fósforo, em cada uma das épocas de coleta.

- Houve variação linear e quadrática na concentração de fósforo em capim-braquiária com o aumento das doses de fósforo, e aumentos lineares na concentração de fósforo no capim-colonião com as doses de fósforo. A concentração em ambas as espécies variou de 0,53 até 4,75 g kg⁻¹.

A atividade foliar da fosfatase ácida em capim-colonião e capim-braquiária apresentou decréscimo no valor com o aumento das doses de fósforo, situando-se entre 21 e 37 $\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$.

- Exceto nas fase iniciais de desenvolvimento, os capins braquiária e colonião mostraram relação inversa entre a produção da parte aérea e a atividade da fosfatase ácida nas folhas novas, nas épocas de coleta estudadas.

4 NUTRIÇÃO EM FÓSFORO E ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA FOLIAR DOS CAPINS BRAQUIÁRIA E COLONIÃO CULTIVADOS EM SOLUÇÃO NUTRITIVA

4.1 Resumo

Foram realizados dois experimentos em solução nutritiva, em casa-de-vegetação, com as espécies forrageiras capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) e capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião), conduzidos concomitantemente, de 8 de janeiro a 3 de março de 1998. Foram utilizadas oito doses de fósforo (0,31; 0,93; 1,55; 3,1; 9,3; 15,5; 31,0 e 46,5 mg L⁻¹). O delineamento experimental adotado foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições.

As plantas foram colhidas aos 40 dias após o transplante, sendo separadas em folhas não-expandidas, lâminas de folhas novas, lâminas de folhas velhas, colmos + bainhas e raízes. A produção tanto da parte aérea como das raízes das duas forrageiras sofreu variação significativa ($P < 0,01$) com as doses de fósforo e se ajustou a modelo de segundo grau. Houve variação significativa ($P < 0,01$) na concentração de fósforo com o incremento das doses de fósforo, seguindo um modelo linear para o capim-colonião e um modelo de segundo grau para o capim-braquiária. De modo geral, a concentração de fósforo foi inferior nas raízes e nos colmos + bainhas, em relação às demais partes da planta. A atividade da fosfatase ácida foliar decresceu com o aumento das doses de fósforo na solução até a dose 31,0

mg L⁻¹. O nível crítico interno de fósforo variou de 1,96 a 3,91 g kg⁻¹ para o capim-braquiária e de 1,35 a 2,28 g kg⁻¹ para o capim-colonião. O nível crítico para atividade da fosfatase ácida foliar foi de cerca de 20 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF para ambas as espécies.

4.2 Summary: PHOSPHORUS STATUS AND LEAF ACID PHOSPHATASE ACTIVITY ON SIGNAL GRASS AND COLONIÃO GRASS GROWN IN NUTRIENT SOLUTION

Two experiments were carried out in nutrient solution, with signal grass (*Brachiaria decumbens* Stapf.) and colonião grass (*Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião), from January to March 1998. Eight rates of phosphorus were used (0.31, 0.93, 1.55, 3.1, 9.3, 15.5, 31.0 and 46.5 mg L⁻¹ of nutrient solution). The experiments were set in complete randomized block design, with four replications.

The plants were harvested at 40 days after transplanting, and plant tops were separated into non-expanded leaves, young leaf blades, old leaf blades, culms + sheaths and roots. Phosphorus rates increased the yield of the two grasses. There was an increase in the concentration of phosphorus with the phosphorus rates, with lower concentrations in the roots and in culms + sheaths. Leaf acid phosphatase activity of the two studied species presented a decrease with the increase of phosphorus rates up to 31.0 mg L⁻¹. The critical levels of phosphorus in the plant changed from 1.96 to 3.91 g kg⁻¹ for signal grass and from 1.35 to 2.28 g kg⁻¹ for colonião grass. The critical level for acid phosphatase activity was about 20 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ FW for the two species.

4.3 Introdução

No Brasil, mais de 60% das áreas pastoris são constituídas por pastagens cultivadas. No início da década de 70 predominavam no Estado de São Paulo pastagens cultivadas com as espécies *Melinis minutiflora* (40%), *Hyparrhenia rufa* (30%) e *Panicum maximum* (20%), enquanto que no ano de 1994, cerca de 80% das áreas de pastagens cultivadas eram ocupadas por *Brachiaria* spp. (Soares Filho, 1994).

Dentre os nutrientes, o fósforo é um dos mais importantes para a nutrição das plantas forrageiras e também para os animais. Teores baixos de fósforo no solo resultam em apreciável diminuição na produção dos pastos, diminuindo a sua concentração na forragem, trazendo graves conseqüências à nutrição mineral das forragens e dos animais (Werner & Haag, 1972).

A deficiência de fósforo no pasto pode ser identificada por meio da observação visual de sintomas de distúrbios nutricionais, ou de outros procedimentos envolvendo, por exemplo, a determinação do nível crítico do nutriente através da análise química e/ou bioquímica do tecido vegetal.

Existem várias definições de nível crítico para os tecidos vegetais, como a de Malavolta et al. (1989) que definem o nível crítico “fisiológico-econômico” como a faixa de concentração do nutriente na folha abaixo da qual a colheita cai e acima da qual a adubação não é mais econômica. Hoffman et al. (1995) ressaltaram que, de modo geral, para pastagens, a produção de máxima eficiência econômica situa-se um pouco abaixo da produção máxima, sendo utilizadas freqüentemente pelos pesquisadores, doses correspondentes a 80 ou 90% da produção máxima, para cujos valores espera-se estar próximo do máximo econômico.

Monteiro et al. (1993) relataram aumento expressivo de produção em capim-braquiária em função do aumento das doses de fósforo em solução. Resultado similar foi obtido por Silva (1996) para o capim-braquiária e capim-

colonião e por Almeida (1998) para o capim-braquiária, onde o incremento de doses de fósforo em solução resultou em aumento no número de perfilhos, na produção de matéria seca, e na concentração de fósforo nas folhas dos capins.

Resultados apresentados por Martinez (1980) e Haag & Dechen (1985) indicaram que o capim-colonião é uma das espécies forrageiras mais exigentes em relação à disponibilidade de fósforo. Martinez (1980) demonstrou que o capim-colonião é altamente exigente quanto ao nível de fósforo em solução nutritiva, exigindo $18,5 \text{ mg L}^{-1}$ para atender ao nível crítico interno estimado em $2,3 \text{ g kg}^{-1}$, enquanto Haag & Dechen (1985) apontaram doses entre 10 e 20 mg L^{-1} para o desenvolvimento adequado das plantas.

Outro procedimento possível de ser utilizado para identificação da nutrição de fósforo no tecido vegetal consiste na análise da atividade de fosfatase ácida. Alguns estudos avaliando a correlação entre a atividade da fosfatase ácida e algumas variáveis como a dose de fósforo em solo ou solução, a concentração e acúmulo desse nutriente na planta e a produção de matéria seca e rendimento de grãos de várias espécies tem demonstrado haver correlação negativa altamente significativa entre esses parâmetros.

Silva & Basso (1993), trabalhando com cana-de-açúcar, e Silva (1996), trabalhando com forrageiras, observaram decréscimo na atividade da fosfatase ácida com a elevação das doses de fósforo na solução, encontrando também correlação altamente significativa e negativa entre a atividade da enzima e as produções de matéria seca e o acúmulo de fósforo.

Bovi et al. (1998) relataram que a atividade da fosfatase ácida apresentou correlação negativa com as características relacionadas ao crescimento e à produção de palmito na pupunheira (*Bactris gasipaes*), não se correlacionando contudo, com os teores de fósforo no solo e no tecido foliar. A correlação não significativa entre a atividade da fosfatase e o fósforo no solo e nas folhas de algumas espécies foi mencionada por Fernandez & Ascencio (1994).

Em virtude da importância das espécies *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum* cv. Colonião na pecuária brasileira e do nutriente fósforo para o bom desenvolvimento das plantas, foram realizados estudos em solução nutritiva para determinação da produção de matéria seca da forrageira, das concentrações de fósforo e da atividade da fosfatase ácida no tecido vegetal visando obter valores de nível crítico para essas variáveis.

4.4 Material e Métodos

4.4.1 Localização, espécies forrageiras e época

Foram realizados dois experimentos em-casa-de-vegetação, na área de Nutrição Mineral de Plantas, do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba, SP. Em cada experimento foi utilizada uma espécie de gramínea forrageira, o capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) e o capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião), sendo os mesmos conduzidos concomitantemente, no período de 08 de janeiro a 03 de março de 1998.

4.4.2 Doses de fósforo e delineamento experimental

Foram utilizadas oito doses de fósforo correspondentes a: 0,31; 0,93; 1,55; 3,1; 9,3; 15,5; 31,0 e 46,5 mg L⁻¹ de solução nutritiva. As soluções foram preparadas a partir da solução de Sarruge (1975), modificada para atender as doses de fósforo estudadas, e foram preparadas conforme demonstrado na Tabela 7. O delineamento adotado foi o de blocos completos ao acaso, com quatro repetições.

Tabela 7. Volumes das soluções estoques empregadas no preparo das soluções nutritivas para as doses de fósforo estudadas.

Soluções estoque	Volume (mL L ⁻¹) de solução estoque por litro							
	0,31	0,93	1,55	3,1	9,3	15,5	31,0	46,5
KH ₂ PO ₄ 0,1 mol L ⁻¹	0,1	0,3	0,5	1,0	-	-	-	-
KH ₂ PO ₄ 0,5 mol L ⁻¹	-	-	-	-	0,6	1,0	2,0	3,0
KNO ₃ 1 mol L ⁻¹	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5
Ca(NO ₃) ₂ 1 mol L ⁻¹	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
MgSO ₄ 1 mol L ⁻¹	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
KCl 1 mol L ⁻¹	0,99	0,97	0,95	0,9	0,7	0,5	-	-
NH ₄ NO ₃ 1 mol L ⁻¹	-	-	-	-	-	-	-	0,25
Micro (-Fe) ¹	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Fe-EDTA ²	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

¹ A solução de micronutrientes possuía a seguinte composição (g L⁻¹): H₃BO₃ = 2,86; MnCl₂.4H₂O = 1,81; ZnCl₂ = 0,10; CuCl₂ = 0,04; H₂MoO₄ = 0,02.

² Dissolveram-se 26,1 g de EDTA dissódico em 286 mL de NaOH 1 mol L⁻¹, misturando-se com 24,0 g de FeSO₄.7H₂O, arejando-se por uma noite e completando-se a um litro de água deionizada.

4.4.3 Instalação e condução do experimento

As sementes das duas espécies foram colocadas para germinar em 8 de janeiro de 1998, em bandejas de plástico, contendo areia lavada, primeiro com água corrente e depois com água destilada.

O transplântio das mudas para os vasos contendo sílica foi realizado em 22 de janeiro de 1998, quando as plantas atingiram um tamanho aproximado de 5 cm e apresentavam duas folhas. Os vasos possuíam capacidade para 3,5 L e foram transplantadas 11 mudas para cada um deles. Empregou-se inicialmente a solução de Sarruge (1975), com uma concentração de 10% da solução completa e o nível de fósforo foi ajustado para 0,31 mg L⁻¹ em todas as soluções, durante um período de três dias após o transplântio.

Após esse período, utilizou-se a solução completa, com o ajuste das doses de fósforo. A renovação da solução nutritiva ocorreu a cada 14 dias, sendo o volume das soluções completado diariamente com água deionizada. Foram realizados desbastes das plantas nos primeiros 10 dias após o transplante, até serem deixadas cinco plantas por vaso.

4.4.4 Coleta e análise do material vegetal

Com base em experimento anterior, estabeleceu-se a época de amostragem para análise da atividade da fosfatase ácida em 40 dias após o início do uso das soluções nutritivas definitivas no experimento.

Realizou-se a contagem do número de perfilhos por vasos e foi cortada uma porção da lâmina foliar de uma das duas primeiras folhas completamente expandidas (lâminas de folhas novas) a partir do ápice da planta, para a determinação da atividade de fosfatase ácida. O restante daquelas lâminas foliares cortadas para determinação da atividade da enzima foi então utilizado para a determinação da concentração de fósforo. A parte da planta amostrada foi escolhida em conformidade com o sugerido por Monteiro et al. (1995).

4.4.4.1 Produção de matéria seca e concentração de fósforo na planta

Para as determinações de produção de matéria seca, dividiu-se a parte aérea da planta em: folhas não-expandidas (FNE) - as folhas sem lígula visível; lâminas de folhas novas (LN) - primeiro par de folhas expandidas a partir do ápice da planta; lâminas de folhas velhas (LV) - lâminas das demais folhas e colmos mais bainhas (C+B). A produção total da parte aérea de ambas as espécies foi obtida somando-se os valores de peso de material seco de cada parte amostrada. As raízes (Raiz) foram lavadas com jatos de água para retirada da sílica, utilizando-se água de torneira. Todo o material colhido foi

posto a secar em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, por um período de 72 horas.

Após a pesagem do material vegetal secado, as amostras de cada porção da planta foram moídas para a determinação da concentração de fósforo, com emprego da digestão nítrico-perclórica, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1989).

4.4.4.2 Atividade de fosfatase ácida no tecido foliar

Para a avaliação da atividade de fosfatase ácida foram utilizados 100 mg de fragmentos de 3 mm das lâminas de folhas novas, excluindo-se a nervura principal. Utilizou-se a metodologia descrita por McLachlan (1982), com as modificações sugeridas por Silva & Basso (1993): o tecido fresco permaneceu incubado com 8,0 mL de p-nitrofenol 250 μ mol L⁻¹ em tampão acetato de sódio (CH₃-COONa) 0,1 mol L⁻¹, com pH ajustado para 4,0 e posteriormente foi colocado em banho-maria por 30 minutos a 30°C. Após esse período, pipetaram-se 5,0 mL do sobrenadante, ao qual foram acrescentados 2,0 mL de NaOH 2 mol L⁻¹. As leituras foram realizadas em fotocolorímetro, em comprimento de onda de 410 nm, comparando-se os teores de para-nitrofenol formado na hidrólise e expressando-se a atividade da fosfatase ácida em micromol de substrato hidrolisado (para-nitrofenilfosfato) por hora por grama de tecido vegetal fresco (μ mol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF).

4.4.5 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise de variância, e em função da significância no teste F para doses de fósforo estudadas, efetuou-se o estudo das regressões. O procedimento estatístico utilizado foi o SAS (SAS Institute, 1988).

Foi executada a análise de regressão polinomial para atividade da fosfatase ácida, produção de matéria seca e concentração de fósforo, bem como teste de comparação de médias (Tukey 5%) para o perfilhamento, e estudo de correlações entre a concentração de fósforo, produção de matéria seca e atividade de fosfatase ácida.

4.5 Resultados e Discussão

4.5.1 *Brachiaria decumbens*

4.5.1.1 Produção de matéria seca e número de perfilhos

A produção de matéria seca da parte aérea e das raízes do capim-braquiária foi significativamente ($P < 0,01$) influenciada pelas doses de fósforo, e os resultados ajustaram-se a equações do segundo grau (Figura 11). O acréscimo significativo na produção de matéria seca de gramíneas forrageiras ao fósforo é amplamente documentado na literatura (Martinez, 1980; Corrêa, 1991; Hoffman et al., 1995; Silva, 1996) e é decorrente da importância desse nutriente em diversos processos metabólicos fisiológicos como produção e transferência de energia (ATP) e fotossíntese.

A máxima produção de matéria seca na parte aérea ocorreu com dose de fósforo de $40,64 \text{ mg L}^{-1}$ na solução. Martinez (1980) constatou a máxima produção de matéria seca na parte aérea no capim-braquiária com dose de fósforo na solução inferior ao do presente experimento. Deve-se, contudo, ressaltar que a autora forneceu fósforo por ocasião da formação das mudas, contribuindo para que as plantas formassem uma reserva de fósforo. Monteiro et al. (1995) obteve o máximo de produção com dose de fósforo em torno de 31 mg L^{-1} de solução nutritiva. A máxima produção de matéria seca das raízes foi

obtida com fósforo na solução em dose correspondente a 38,4 mg L⁻¹, a qual foi superior à relatada na literatura por Martinez (1980).

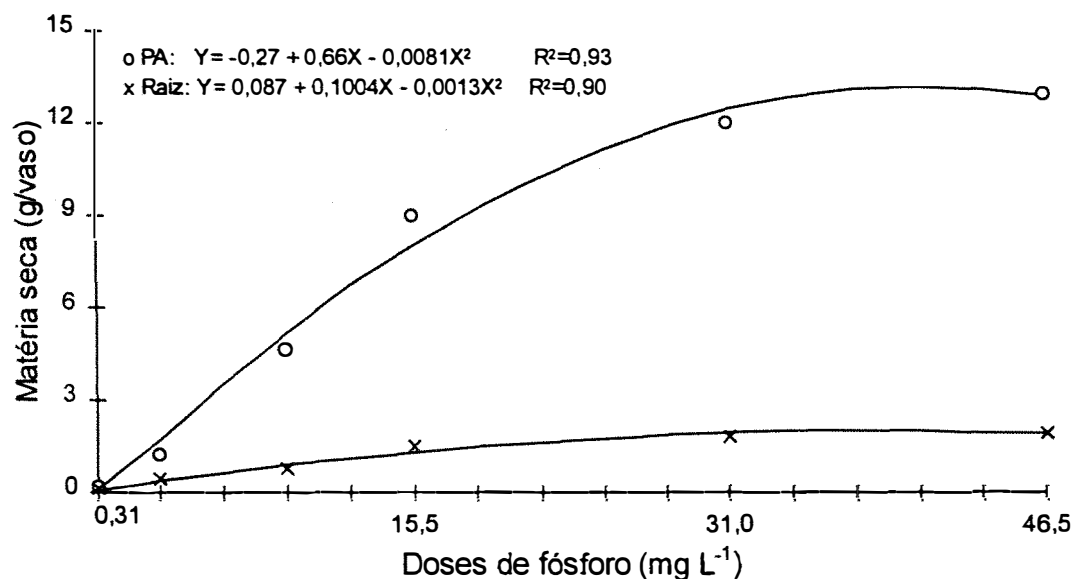


Figura 11. Produção de matéria seca da parte aérea (PA) e das raízes (raiz) de capim-braquiária em função das doses de fósforo na solução.

Andrew & Robins (1971) ao estudarem a resposta de nove espécies de gramíneas forrageiras a doses de fósforo relataram que as espécies responderam ao fosfato adicionado com aumento na produção. Silva (1996) e Almeida (1998) relataram que, no primeiro corte, o capim-braquiária respondeu até a dose mais alta do fósforo estudada com aumento na produção de matéria seca. No segundo corte, Silva (1996) observou que o capim-braquiária mostrou na produção resposta linear às doses de fósforo, evidenciando que a espécie pode responder a doses mais altas de fósforo que a máxima de 31,0 mg L⁻¹.

Silva (1996) e Almeida (1998) relataram ajuste a modelo de segundo grau para a produção de matéria seca de raízes do capim-braquiária em função das doses de fósforo. Monteiro et al. (1995) observaram que na *Brachiaria*

brizantha cv. Marandu os tratamentos com omissão de nitrogênio e fósforo representaram as maiores limitações ao desenvolvimento das plantas, tanto na produção de matéria seca na parte aérea como naquela das raízes.

Conforme Gardner et al. (1986) plantas bem supridas com fósforo desenvolvem mais raízes que plantas deficientes. Isto provavelmente seja devido a disponibilidade de fósforo influenciar a fotossíntese, que por sua vez resulta em maior suprimento de carboidratos, resultando em aumento do crescimento radicular.

Na análise de variância para o número total de perfilhos por vaso, observou-se significância ($P < 0,01$) para doses de fósforo (Figura 12). Silva (1996) e Almeida (1998) obtiveram efeitos significativos das doses de fósforo no perfilhamento de *Brachiaria decumbens*, sendo que o aumento das doses de fósforo em solução estimulou acentuadamente o perfilhamento.

No presente experimento verificou-se que o aumento no perfilhamento ocorreu somente a partir da dose $9,3 \text{ mg L}^{-1}$. Para Rodrigues & Reis (1995), o perfilho é a unidade vegetativa básica das gramíneas, sendo que a produção de matéria seca dos capins é definida pelo número e peso de perfilhos. Desse modo, nota-se estreita relação entre o aumento da produção de matéria seca e o aumento do número de perfilhos, que ocorreu de modo mais acentuado da dose $3,1$ para $9,3 \text{ mg L}^{-1}$ (Figuras 11 e 12).

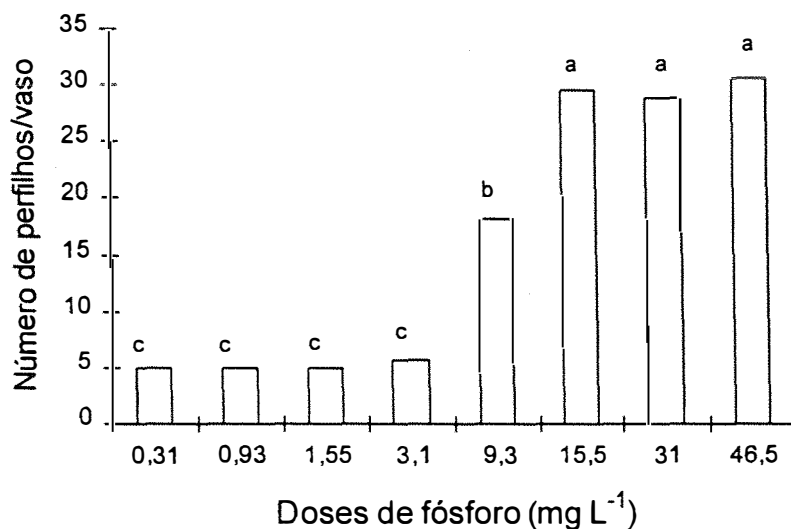


Figura 12. Número de perfilhos do capim-braquiária em função das doses de fósforo na solução nutritiva (Valores seguidos pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5%.)

Não se constatou diferença entre o número de perfilhos em dose mais elevada que 15,5 mg L⁻¹. Contudo, a produção de matéria seca aumentou até atingir um máximo na dose correspondente a 40,0 mg L⁻¹, indicando que apesar do número de perfilhos emitidos permanecer constante, houve um aumento no peso de cada perfilho propiciado pela adubação fosfatada.

4.5.1.2 Sintomas visuais

Pode-se observar na Figura 13 que nas doses mais baixas de fósforo (inferiores a 9,3 mg L⁻¹) o crescimento do capim-braquiária foi muito reduzido. Constatou-se um gradiente crescente na altura, no número de perfilhos e de folhas e no desenvolvimento radicular em função das doses de fósforo na solução nutritiva.



Figura 13. Fotografia das plantas mostrando o crescimento de capim-braquiária (A) e capim-colonião (B) em função das doses de fósforo na solução

A partir da primeira semana após a instalação do experimento, as diferenças no desenvolvimento das plantas, em função das doses de fósforo, começaram a se tornar mais evidentes, acentuando-se com o decorrer do período experimental.

Por ocasião do corte (aos 40 dias após o transplante) as plantas apresentavam amarelecimento e morte de folhas na dose $0,31 \text{ mg L}^{-1}$, sendo que estas não ultrapassaram 5 cm de altura e dois pares de folhas. Sintomas semelhantes foram descritos por Martinez (1980).

4.5.1.3 Concentração de fósforo na planta

A análise da variância dos resultados mostrou que a concentração de fósforo em folhas não-expandidas (FNE), lâminas de folhas novas (LN), lâminas de folhas velhas (LV), colmos mais bainhas (C+B) e raízes (Raiz) foi significativamente ($P < 0,01$) alterada pelas doses de fósforo. Essa alteração pode ser representada por equações de segundo grau para todos os componentes da planta (Figura 14).

Independentemente da parte da planta amostrada, ocorreu aumento na concentração de fósforo com o aumento das doses de fósforo em solução (Figura 14). Martinez (1980) e Almeida (1998) relatam que o aumento das doses de fósforo na solução nutritiva proporcionou incremento na concentração de fósforo em todos os componentes do capim-braquiária, e esse incremento foi variável conforme o corte e porção amostrada da planta.

A magnitude da concentração de fósforo foi bem diferente conforme a parte amostrada da planta. Em geral, as mais baixas concentrações ocorreram nas raízes e nos colmos mais bainhas, o que corrobora os resultados de Silva (1996) e Almeida (1998).

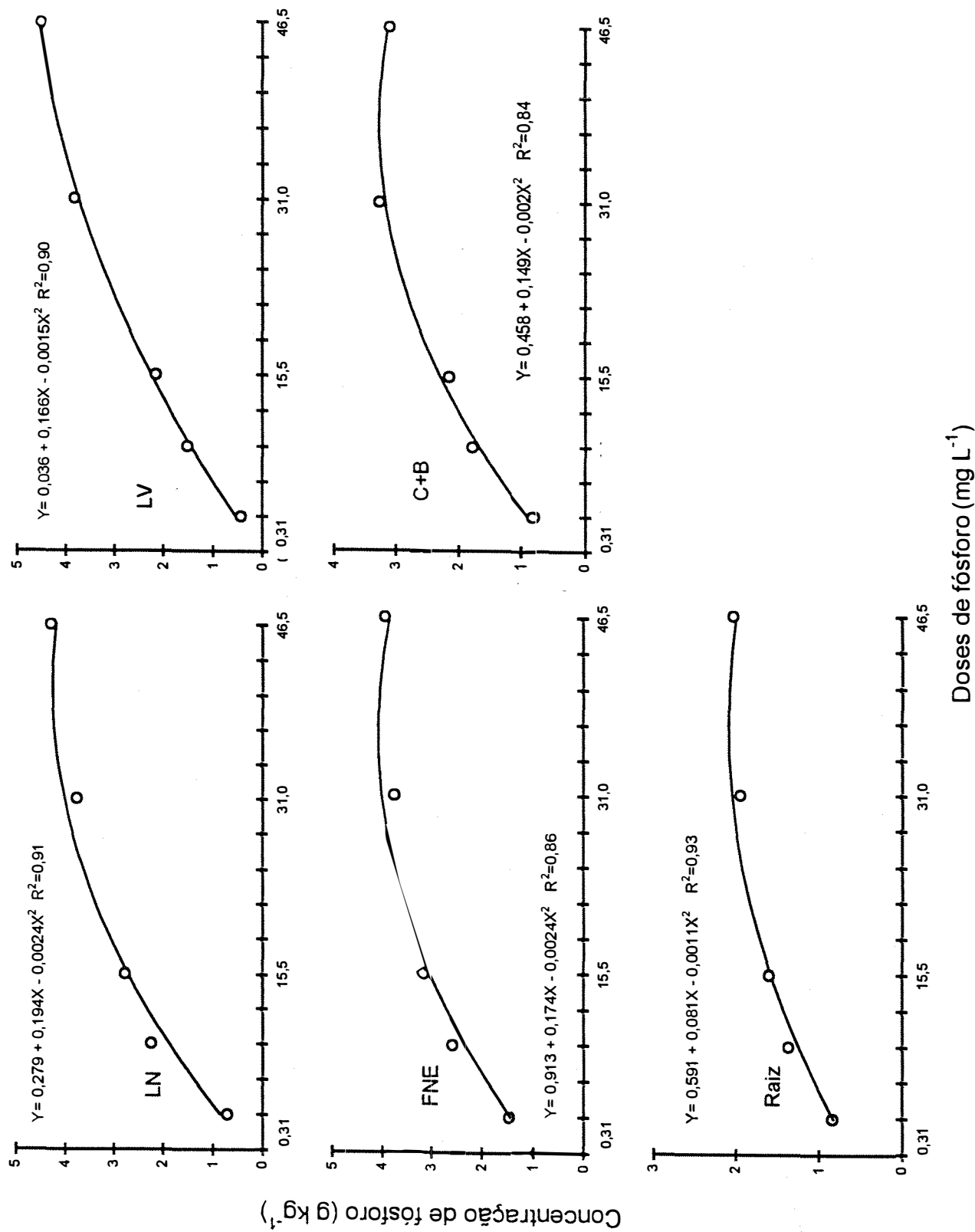


Figura 14. Concentração de fósforo em lâminas de folhas novas (LN), folhas velhas (LV), folhas não-expandidas (FNE), colmos + bainhas (C+B) e raiz de capim-colonião em função das doses de fósforo na solução.

As concentrações de fósforo observadas no presente experimento variaram de $0,2 \text{ g kg}^{-1}$ na dose $0,93 \text{ mg L}^{-1}$ até um máximo de $4,5 \text{ g kg}^{-1}$ na mais alta dose de fósforo. Essas concentrações aproximam-se das observadas por Martinez (1980), as quais localizaram-se entre $0,5$ e $6,2 \text{ g kg}^{-1}$, sendo contudo, superiores aos relatados por Silva (1996) e Almeida (1998) que atingiram um máximo de $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ na dose $31,0 \text{ mg L}^{-1}$.

Onde a dose de fósforo em solução apresentava-se reduzida (abaixo de $15,5 \text{ mg L}^{-1}$) a porção mais jovem (folha não-expandida) da planta apresentou mais elevada concentração de fósforo, indicando que em condições de baixo suprimento de fósforo, o nutriente é acumulado nos tecidos meristemáticos mais ativos.

A concentração de fósforo nas raízes e nos colmos mais bainhas foi mais alta que a concentração das lâminas das folhas expandidas e folhas velhas, nas doses de fósforo na solução mais baixas que $3,1 \text{ mg L}^{-1}$, e isto é similar ao relatado por Almeida (1998). Também Martinez (1980), ao analisar separadamente folhas, bainhas, caule e raízes, relatou uma concentração de fósforo mais elevada em raízes e bainhas comparada às folhas nas doses mais baixas de fósforo na solução, e concentração mais elevadas em folhas à medida em que elevaram-se as doses de fósforo na solução.

4.5.1.4 Atividade da fosfatase ácida foliar

A atividade da fosfatase ácida no capim-braquiária teve efeito significativo ($P < 0,01$) das doses de fósforo na solução, e esse efeito pode ser representado por equação de regressão do segundo grau.

A atividade foliar da fosfatase ácida decresceu com o aumento das doses de fósforo até a dose $31,0 \text{ mg L}^{-1}$ (Figura 15), situando-se entre 31 e $19 \text{ } \mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$. Silva (1996) observou reduções significativas na

atividade da fosfatase ácida à medida que o teor de fósforo em solução aumentava.

Furlani et al. (1984), trabalhando com genótipos de sorgo (*Sorghum vulgare* L.), determinou valores de fosfatase ácida em raízes variáveis entre 15 e 40 $\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$ e que são muito próximos aos observados nesse estudo com lâminas foliares de capim-braquiária. A atividade da enzima foi mais elevada para plantas que mostravam sintomas de deficiência de fósforo mais severos, e mais baixa em genótipos de sorgo mais tolerantes ao baixo nível de fósforo em solução. Os genótipos com mais baixa atividade de fosfatase em raízes não aparentaram sofrer deficiência severa de fósforo e foram capazes de crescer melhor com baixo fósforo no substrato.

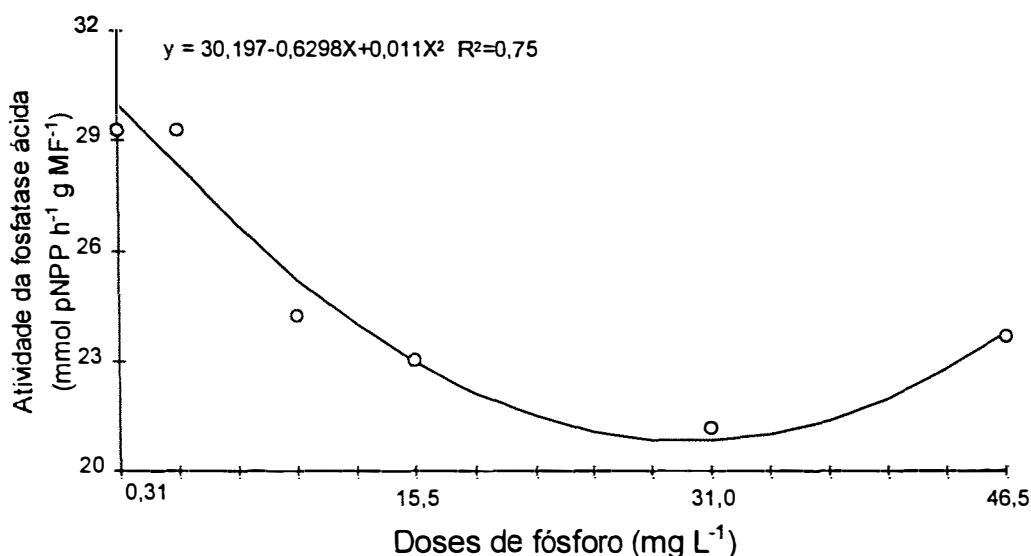


Figura 15. Atividade de fosfatase ácida em capim-braquiária em função das doses de fósforo na solução.

Besford (1979a), em trabalho clássico com tomate (*Lycopersicon sculentum*), relatou diferenças na atividade da fosfatase conforme o estágio de

desenvolvimento da planta, com todas as folhas apresentando diminuição na atividade da fosfatase ácida quando a dose de fósforo era de 41 mg L⁻¹ na solução. A redução da dose de fósforo de 41,0 para 4,1 mg L⁻¹ (decréscimo de 10 vezes) resultou em um aumento na atividade da fosfatase ácida. Esses resultados são similares aos observados no presente trabalho, em que a redução das doses de fósforo na solução em 10 vezes (de 31,0 para 3,1 mg L⁻¹) foi acompanhada pelo aumento da atividade da fosfatase ácida foliar. Também verificou-se que nas doses de fósforo mais baixas que 3,1 mg L⁻¹ a atividade da fosfatase permaneceu constante.

Realizou-se estudo de correlação entre a produção de matéria seca da parte aérea, o número de perfilhos, a concentração de fósforo nos componentes da planta e a atividade da fosfatase ácida na lâmina foliar. Os coeficientes de correlação encontram-se resumidos na Tabela 8.

Todos os parâmetros avaliados apresentaram correlação significativa e negativa com a atividade da fosfatase ácida, o que corrobora os relatados na literatura corrente (McLachlan et al., 1987; Silva, 1996).

Tabela 8. Coeficientes de correlação entre a atividade da fosfatase ácida, número de perfilhos, produção de matéria seca da parte aérea e a concentração de fósforo em capim-braquiária.

Parâmetros avaliados	Fosfatase ácida
Matéria seca da parte aérea	- 0,77**
Número de perfilhos	- 0,78**
Concentração de fósforo em lâminas de folhas novas	- 0,74**
Concentração de fósforo em lâminas de folhas velhas	- 0,61**
Concentração de fósforo em folhas não expandida	- 0,70**
Concentração de fósforo em colmos mais bainhas	- 0,70**
Concentração de fósforo em raízes	- 0,78**

**significativo a 1% pelo teste de Pearson

4.5.1.5 Nível crítico de fósforo

Por meio das equações de regressão entre a produção de matéria seca e as doses de fósforo em solução foi estimado o nível crítico externo de fósforo para 90% da produção máxima de matéria seca da parte aérea e das raízes, os quais foram 27,91 e 26,28 mg L⁻¹, respectivamente.

Para o cálculo do nível crítico adotou-se o conceito estabelecido por Ulrich & Hill (1973), o qual é representado pela concentração do nutriente que corresponde a 90% da produção máxima da cultura. Para a atividade da fosfatase ácida foliar, o nível crítico foi determinado pelo valor de atividade da enzima que corresponde a 90% da produção máxima da cultura.

Os níveis críticos internos nas partes amostradas da planta foram: 1,96 g kg⁻¹ para as raízes, 3,84 g kg⁻¹ para as folhas não-expandidas, 3,51 g kg⁻¹ para as lâminas de folhas velhas, 3,91 g kg⁻¹ para as lâminas de folhas novas e 3,08 g kg⁻¹ para os colmos mais bainhas. Estes valores estão elevados se comparados com os citados em literatura para a espécie considerada, os quais encontram-se na faixa de 1,0 a 2,6 g kg⁻¹ (Guss et al., 1990; Corrêa, 1991; Hoffman et al., 1995; Monteiro et al., 1995). Contudo, deve-se considerar que a maior parte desses autores relataram os níveis críticos internos obtidos em experimentos realizados com solo, onde algumas características do solo podem interferir com a absorção de fósforo, reduzindo os níveis críticos internos.

Estimou-se também o nível crítico da atividade da fosfatase ácida nas lâminas de folhas novas do capim-braquiária, o qual correspondeu a 20 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF.

4.5.2 *Panicum maximum* cv. colônião

4.5.2.1 Produção de matéria seca

A produção de matéria seca da parte aérea e das raízes sofreu influência significativa ($P < 0,01$) das doses de fósforo, e essa influência é representada por equações de regressão de segundo grau (Figura 16).

O aumento na produção de matéria seca em função da elevação das doses de fósforo é bem mencionado na literatura, com exemplos de que o baixo teor de fósforo no substrato é limitante para a produção de matéria seca desse capim, e que o incremento de fósforo é responsável pela elevação da produção (Martinez, 1980; Corrêa, 1991; Hoffman et al., 1995; Silva, 1996). Andrew & Robins (1971) verificaram boa resposta do capim-colônião a doses de fósforo, sendo a produção encontrada na mais baixa disponibilidade de fósforo correspondente a somente 2% da máxima produção alcançada.

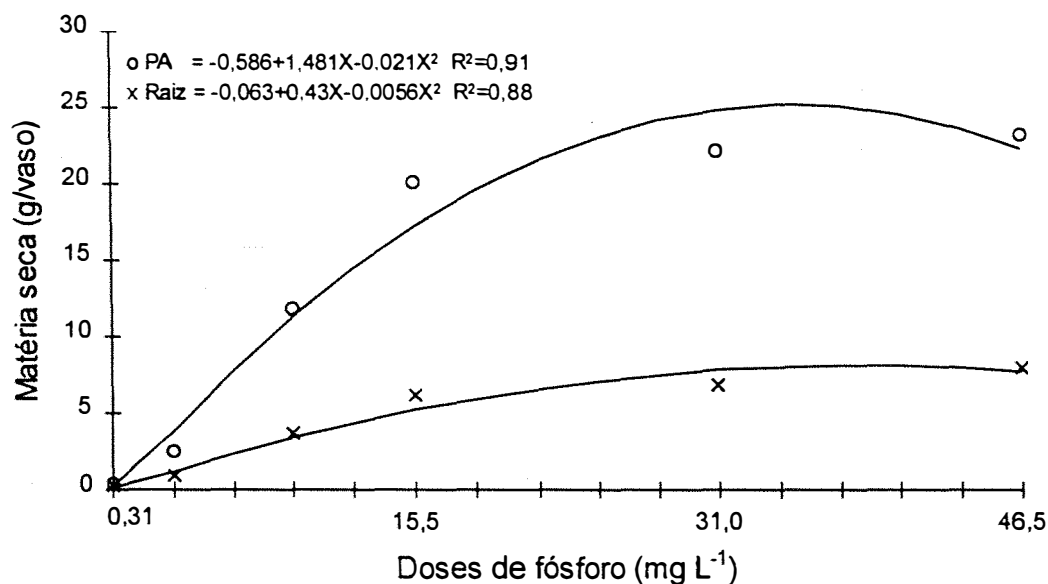


Figura 16. Produção de matéria seca da parte aérea (PA) e das raízes (Raiz) do capim-colônião em função das doses de fósforo na solução.

Um dos trabalhos pioneiros no Brasil com uso de fósforo em solução para o capim-colonião foi o de Werner & Haag (1972), no qual os autores verificaram resposta acentuada dessa forrageira aos níveis de fósforo em solução, até a máxima dose estudada. Silva (1996), ao estudar a resposta do *Panicum maximum* cv. IZ-1 a doses de fósforo na solução, relatou que o mesmo apresentou ajuste quadrático para produção de matéria seca da parte aérea no primeiro corte, não atingindo contudo um ponto de máximo com as doses estudadas (máximo de 31 mg L⁻¹). No segundo corte, aquele cultivar apresentou resposta linear às doses de fósforo, com base no que foi sugerido que a espécie pode responder a doses mais altas de fósforo que as estudadas.

A partir das equações de segundo grau foram determinados os pontos de máxima produção de matéria seca na parte aérea e nas raízes do capim-colonião. Para a parte aérea a máxima produção foi atingida com dose de fósforo equivalente a 34,9 mg L⁻¹.

Verificou-se que os acréscimos de produção na parte aérea foram mais acentuados do que nas raízes, fato também constatado por Martinez (1980) e Meirelles et al. (1988). A produção de matéria seca das raízes atingiu o máximo com dose de fósforo mais elevada (38,2 mg L⁻¹) do que a da produção de matéria seca da parte aérea. Martinez (1980) e Silva (1996) relataram que o *Panicum maximum* apresentou resposta quadrática para produção de matéria seca de raízes em função das doses de fósforo aplicadas, sendo que Martinez (1980) determinou o ponto de máximo dessa espécie para a produção de matéria seca de raízes na dose de fósforo de 17,1 mg L⁻¹.

De acordo com Gislon (1997) o desenvolvimento radicular, paralelamente ao perfilhamento e alongação do colmo são estimulados pela nutrição fosfatada e fazem com que a planta tenha implantação mais rápida, tornando seu estabelecimento facilitado.

O número total de perfilhos por vaso foi influenciado significativamente ($P < 0,01$) pelas doses de fósforo. O capim-colonião apresentou um incremento

no perfilhamento a partir da dose 9,3 mg L⁻¹, o qual não diferiu significativamente das doses mais elevadas de fósforo na solução (Figura 17). Werner & Haag (1972) relataram um perfilhamento reduzido desse capim com a dose de 2,5 mg L⁻¹, que aumentou bruscamente em níveis até 10,0 mg L⁻¹ e manteve-se aproximadamente constante nos níveis mais elevados de fósforo em solução nutritiva.

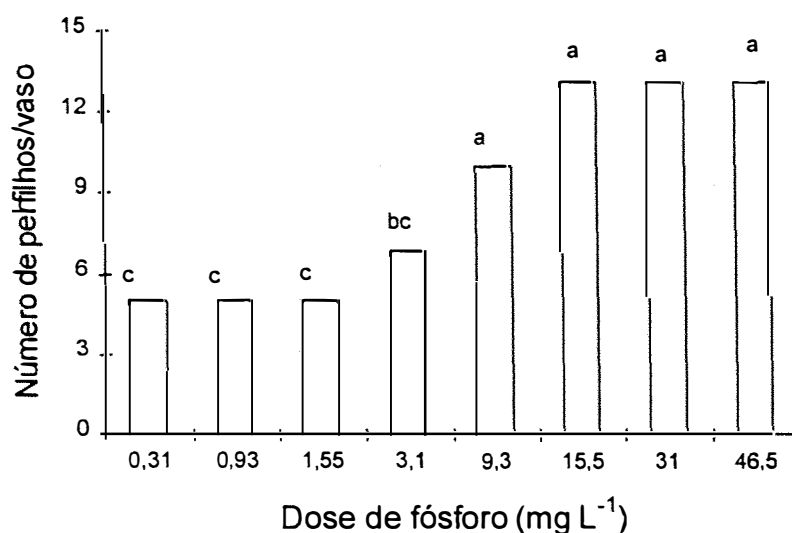


Figura 17. Número de perfilhos em capim-colonião em função das doses de fósforo na solução (Valores seguidos pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.)

França & Haag (1985) obtiveram um aumento de 20,7 vezes no número de perfilhos em condições de suprimento adequado de fósforo, contra a omissão de fósforo para *Panicum maximum* cv. Tobiata. Silva (1996) observou aumento no número de perfilhos no cultivar IZ-1, com a adição de fósforo.

Conforme Werner & Haag (1972) uma das principais conseqüências da deficiência de fósforo em condições de campo, ao limitar o desenvolvimento e o perfilhamento das gramíneas é deixar espaços livres no pasto.

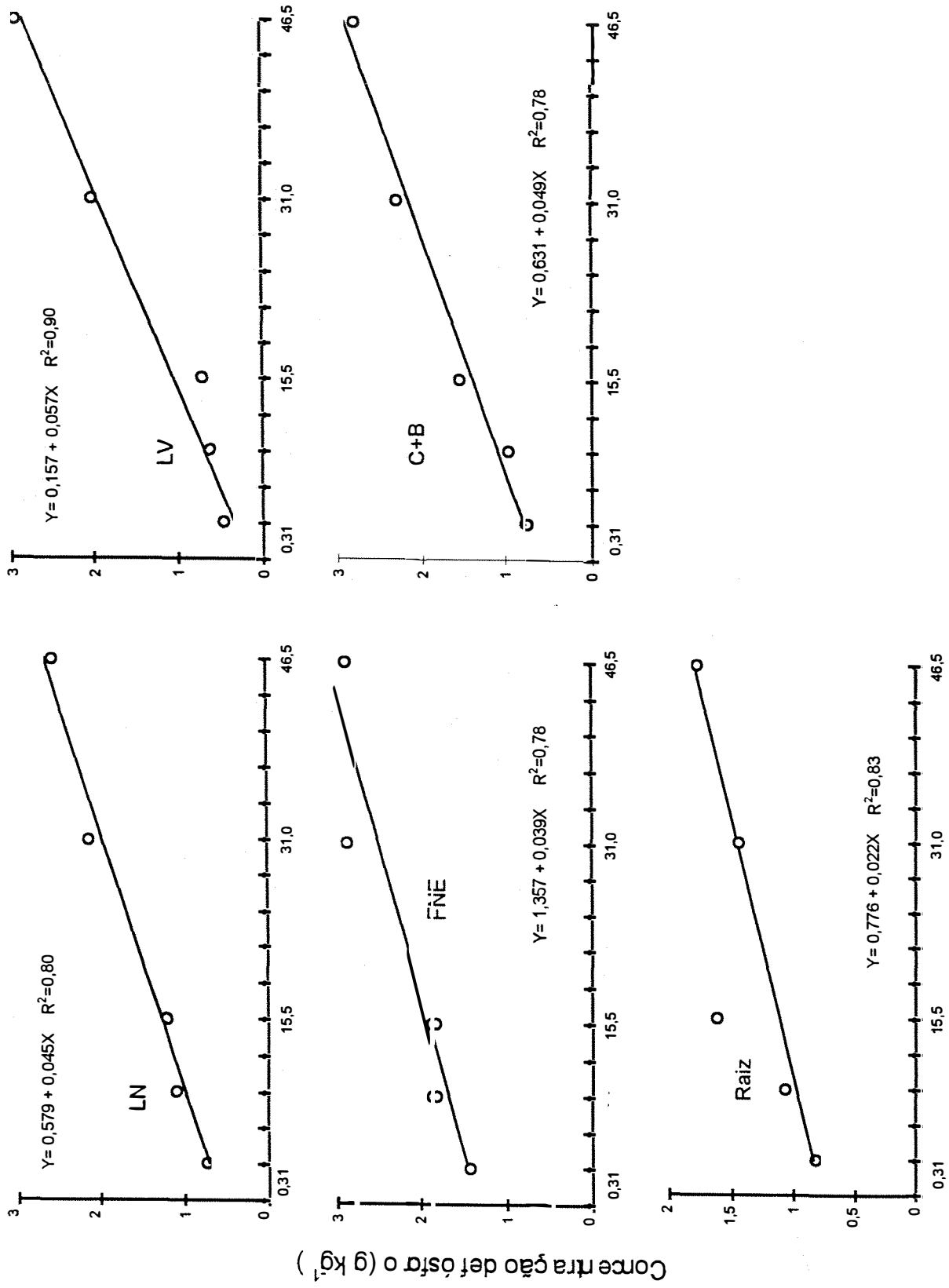
4.5.2.2 Sintomas visuais

Foram observadas diferenças no crescimento e desenvolvimento das plantas de capim-colonião em consequência das doses de fósforo (Figura 13). Nas doses de fósforo mais baixas que $3,1 \text{ mg L}^{-1}$ o perfilhamento foi muito reduzido, e pode-se observar um gradiente crescente em altura das plantas entre as doses $0,31$ e $9,3 \text{ mg L}^{-1}$.

Ao final do experimento, na dose mais baixa de fósforo ($0,31 \text{ mg L}^{-1}$), as plantas tinham altura muito reduzida, permanecendo com aproximadamente 5 cm de altura e somente com dois pares de folhas, os quais apresentaram secamento das folhas. A clorose e posterior necrose das pontas nas folhas também foram verificadas em menor intensidade nas doses $0,93$ e $1,55 \text{ mg L}^{-1}$, que na dose $0,31 \text{ mg L}^{-1}$. Sintomas visuais de deficiência de fósforo semelhantes foram descritos por Werner & Haag (1972) e Martinez (1980), que também verificaram redução acentuada no desenvolvimento das plantas de capim-colonião em teores de fósforo em solução nutritiva inferiores a $10,0$ e $7,75 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

4.5.2.3 Concentração de fósforo na planta

A análise da variância da concentração de fósforo em folhas não-expandidas (FNE), lâminas de folhas velhas (LV), lâminas de folhas novas (LN) e colmos mais bainhas (C+B) indicou que a variação nessas concentrações foi significativa ($P < 0,01$) com as doses de fósforo na solução nutritiva. A concentração de fósforo nas diversas partes da planta aumentou linearmente com as doses de fósforo no substrato (Figura 18), corroborando os resultados obtidos por Martinez (1980) e Silva (1996).



Doses de fósforo (mg L⁻¹)

Figura 18. Concentração de fósforo em lâminas de folhas novas (LN), folhas velhas (LV), folhas não-expandidas (FNE), colmos + bainhas (C+B) e raiz de capim-colonião em função das doses de fósforo na solução.

A concentração de fósforo no tecido variou entre 0,28 g kg⁻¹ na dose 0,93 mg L⁻¹ de fósforo na solução nutritiva em lâminas de folhas velhas e 2,93 g kg⁻¹ na dose 46,5 mg L⁻¹ em folhas não-expandidas. Martinez (1980) citou que a concentração de fósforo no tecido do capim-colonião variou de 0,22 g kg⁻¹ na dose mais baixa de fósforo na solução até 4,64 g kg⁻¹ na dose mais elevada de fósforo na solução nutritiva. Já Silva (1996) verificou para o *Panicum maximum* valor máximo de 2,4 g kg⁻¹ na dose de 31,0 mg L⁻¹ na solução nutritiva.

Werner & Haag (1972) e Carriel et al. (1989) constataram que o capim-colonião apresentou sempre concentrações mais baixas que as outras gramíneas forrageiras em quaisquer níveis de fósforo no substrato. Em contrapartida, Silva (1996) não detectou diferenças significativas ($P < 0,01$) entre a concentração de fósforo da parte aérea de capim-braquiária e *Panicum maximum* cv. IZ-1, submetidos às mesmas doses de fósforo e cultivados simultaneamente.

As concentrações de fósforo apresentaram valores diferenciados em função da parte amostrada da planta e das doses de fósforo em solução. Raízes e colmos mais bainhas apresentaram concentração mais elevada que as lâminas de folhas velhas e lâminas de folhas novas em doses mais baixas de fósforo (até 3,1 mg L⁻¹). Contudo, à medida em que se elevou a dose de fósforo na solução nutritiva, a concentração de fósforo nas raízes aumentou em menor proporção que o aumento na concentração de fósforo nas lâminas foliares.

Martinez (1980), ao analisar separadamente folhas, bainha, caule e raízes relatou que a concentração de fósforo foi mais elevada no caule quando comparado às folhas até a dose 0,48 mg L⁻¹; concentração de fósforo mais elevada nas folhas foi obtida à medida que elevaram-se os níveis de fósforo em solução. Silva (1996) relatou concentrações de fósforo na parte aérea mais elevadas que os da raízes.

Em todas as condições de doses de fósforo a porção mais jovem (folha não-expandida) da planta apresentou mais alta concentração de fósforo, evidenciando o acúmulo desse nutriente. Esse comportamento é mais facilmente notado em doses de fósforo muito baixas (até 3,1 mg) na solução, onde se observa que a concentração de fósforo nas folhas não-expandidas é cerca de duas a três vezes mais elevada que a concentração do nutriente nas lâminas de folhas novas e velhas, indicando que em condições de falta de fósforo, o mesmo é redirecionado para porções mais jovens da planta. De acordo com Marschner (1995) o fósforo é prontamente mobilizado em plantas e, quando ocorre uma deficiência, o nutriente contido nos tecidos mais velhos é transferido às regiões meristemáticas ativas.

4.5.2.4 Atividade da fosfatase ácida foliar

A atividade da fosfatase ácida em lâmina foliar de capim-colonião foi significativamente ($P < 0,01$) afetada pelas doses de fósforo na solução nutritiva e os resultados ajustaram-se a um modelo quadrático.

Do mesmo modo que verificado com o capim-braquiária, a atividade foliar da fosfatase ácida em capim-colonião decresceu com o aumento das doses de fósforo até a dose 31,0 mg L⁻¹ (Figura 19). A diminuição na atividade da fosfatase em capim-colonião com o incremento dos níveis de fósforo em solução foi também verificada por Silva (1996).

Os valores estiveram entre de 19 a 31 $\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$ e foram similares aos determinados por Silva (1998) para vários acessos de *Panicum maximum*, os quais estiveram entre 26 e 40 $\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$.

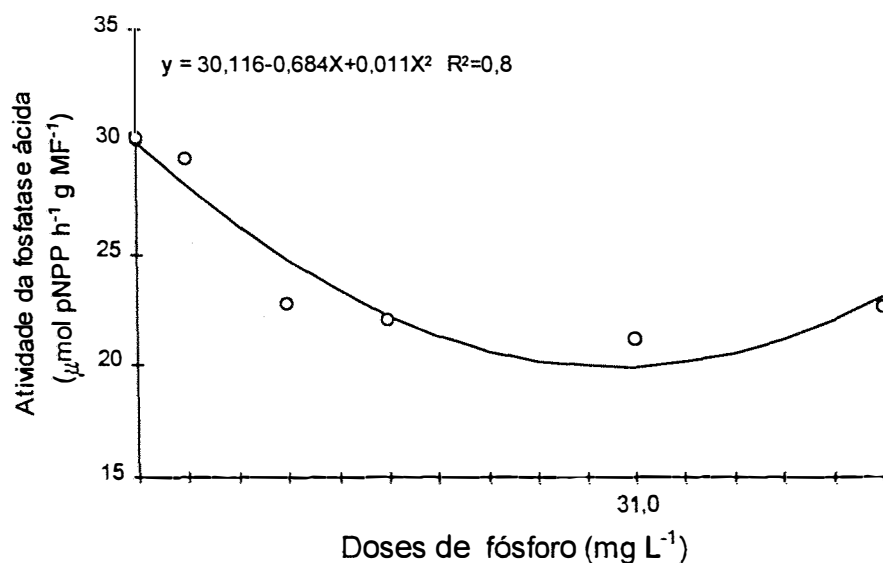


Figura 19. Atividade de fosfatase ácida em capim-colonião em função das doses de fósforo na solução.

Elliot & Lauchli (1986), trabalhando com milho (*Zea mays* L.), mostraram que o incremento na atividade da fosfatase ácida foliar ocorreu somente em plantas muito deficientes em fósforo, havendo somente um pequeno incremento na atividade em plantas moderadamente deficientes em fósforo, os quais, por sua vez, foram semelhantes aos determinados em plantas suficientes em fósforo. Esses resultados são análogos aos observados no presente experimento, em que se verificou um incremento na atividade da fosfatase em plantas que apresentaram-se deficientes em fósforo (doses inferiores a $3,1 \text{ mg L}^{-1}$), não ocorrendo diferenças relevantes entre plantas com moderada deficiência e plantas suficientes em fósforo (entre $9,3$ e $46,5 \text{ mg L}^{-1}$).

Estudou-se a correlação entre a atividade da fosfatase ácida com a produção de matéria seca da parte aérea, número de perfilhos e a concentração de fósforo nas partes componentes da planta. Os coeficientes de correlação obtidos foram mais elevados quando se considerou a produção de

matéria seca e mais baixos quando a correlação com a concentração de fósforo foi avaliada, sendo em todos os casos negativos (Tabela 9).

Silva (1996) já havia relatado uma correlação negativa mais elevada para o *Panicum maximum* cv IZ-1 que para o capim-braquiária, considerando a atividade da fosfatase e a produção de matéria seca e concentração de fósforo, com valores de -0,97 e -0,86, respectivamente.

Tabela 9. Coeficientes de correlação entre a atividade da fosfatase ácida e a produção de matéria seca da parte aérea, número de perfilhos e concentração de fósforo em capim-colonião.

Parâmetros avaliados	Fosfatase ácida
Matéria seca parte aérea	- 0,84**
Concentração de fósforo em lâminas de folhas novas	- 0,60*
Concentração de fósforo em lâminas de folhas velhas	- 0,53*
Concentração de fósforo em folhas não expandidas	- 0,71**
Concentração de fósforo em colmos mais bainhas	- 0,71**
Concentração de fósforo em raízes	- 0,70**
Número de perfilhos	- 0,68*

*, ** significativo a 5 e a 1% pelo teste de Pearson, respectivamente.

4.5.2.5 Nível crítico de fósforo

As doses de fósforo estimadas para atingir 90% da produção máxima da parte aérea e das raízes foram obtidas através das equações de regressão entre a produção de matéria seca e as doses de fósforo em solução. As doses críticas de fósforo obtidas foram 23,96 e 26,17 mg L⁻¹ de solução nutritiva para a parte aérea e raízes, respectivamente.

Para o cálculo do nível crítico interno de fósforo e o nível crítico da fosfatase ácida adotou-se a mesma metodologia usada para o capim-braquiária.

Os níveis críticos internos determinados para as partes da planta foram: 1,35 g kg⁻¹ para as raízes, 2,28 g kg⁻¹ para as folhas não-expandidas, 1,53 g kg⁻¹ para as lâminas de folhas velhas, 1,65 g kg⁻¹ para as lâminas de folhas novas e 1,8 g kg⁻¹ para os colmos mais bainhas. Estes valores são similares aos relatados por Martinez (1980), os quais estiveram entre 1,1 e 2,9 g kg⁻¹, também variando nas diversas partes da planta e apresentando mais baixos valores para as raízes e mais elevados para as folhas. Andrew & Robins (1971), Falade (1975) e Dias Filho (1995) encontraram valores de nível crítico para a parte aérea de *Panicum maximum* ao redor de 1,9 a 2,1 g kg⁻¹.

O nível crítico para atividade da fosfatase ácida foliar foi de 20,33 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF e se mostrou muito próximo ao encontrado para a *Brachiaria decumbens*.

4.6 Conclusões

- A produção de matéria seca da parte aérea e das raízes do capim-braquiária e capim-colonião aumentou com o incremento das doses de fósforo na solução nutritiva.

- O aumento do perfilhamento, nas duas espécies, ocorreu somente a partir da dose 9,3 mg L⁻¹, não havendo diferença entre as doses mais elevadas de fósforo.

- Independentemente da parte da planta amostrada ocorreu um incremento nas concentrações de fósforo com o aumento das doses de fósforo na solução, o qual foi linear para o capim-colonião e quadrático para o capim-braquiária.

- A atividade foliar da fosfatase ácida nas duas espécies apresentou valores entre 19 e 31 $\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$ e teve um decréscimo com o aumento das doses de fósforo até a dose 31,0 mg L^{-1} .

- O nível crítico interno de fósforo esteve entre 1,96 e 3,91 g kg^{-1} para o capim-braquiária e 1,35 e 2,28 g kg^{-1} para o capim-colonião, variando conforme a porção da planta considerada.

- O nível crítico de 20 $\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$ para a atividade da fosfatase ácida foi similar para as duas forrageiras.

5 NUTRIÇÃO EM FÓSFORO E ATIVIDADE DA FOSFATASE ÁCIDA FOLIAR NOS CAPINS BRAQUIÁRIA E COLONIÃO EM LATOSSOLO.

5.1 Resumo

Foram realizados dois experimentos em Latossolo Vermelho-Amarelo, em casa-de-vegetação, com as espécies forrageiras capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) e capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião), conduzidos no período de 07 de abril a 27 de maio de 1998. Foram utilizadas oito doses de fósforo (0; 20; 40; 60; 80; 160; 240 e 320 mg kg⁻¹ de solo). O delineamento adotado foi o de blocos completos ao acaso, com cinco repetições.

As plantas foram colhidas aos 45 dias após a emergência, sendo separadas em folhas não-expandidas, lâminas de folhas novas, lâminas de folhas velhas, colmos + bainhas e raízes. A produção de matéria seca da parte aérea e das raízes e a concentração de fósforo sofreu variação significativa ($P < 0,01$) com as doses de fósforo e se ajustou a modelo de segundo grau. O capim-braquiária respondeu com aumentos na produção até um máximo de 207 mg kg⁻¹ de solo, enquanto que o capim-colonião respondeu até 200 mg kg⁻¹. A concentração de fósforo foi inferior nas raízes e nos colmos mais bainha, em relação às demais partes da planta. A atividade foliar da fosfatase ácida em capim-braquiária teve redução com o aumento das doses de fósforo no solo, até 263 mg kg⁻¹. Para o capim-colonião, a atividade enzimática decresceu com o aumento das doses de fósforo até 204 mg kg⁻¹. O nível crítico

interno de fósforo variou de 1,17 a 2,71 g kg⁻¹ para o capim-braquiária e de 1,47 a 2,76 g kg⁻¹ para o capim-colonião, conforme a parte considerada da planta. O nível crítico para atividade da fosfatase ácida foliar foi cerca de 25 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF para o capim-braquiária e 20 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF para o capim-colonião.

5.2 Summary: PHOSPHORUS STATUS AND LEAF ACID PHOSPHATASE ACTIVITY ON SIGNAL AND COLONIÃO GRASSES GROWN IN A LATOSOL

Two experiments were carried out in a latosol, with signal grass (*Brachiaria decumbens* Stapf.) and colonião grass (*Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião), from April to May 1998. Eight rates of phosphorus were used (0, 20, 40, 60, 80, 160, 240 and 320 mg kg⁻¹ of soil). The experiments were set in complete randomized block design, with four replications.

Plants were harvested at 45 days after emergency, and plant tops were separated into non-expanded leaves, young leaf blades, old leaf blades, culms + sheaths and roots. The phosphorus rates increased the yield of the two grasses, and signal grass responded up to 207 mg kg⁻¹ of soil, while colonião grass responded up to 200 mg kg⁻¹. There was an increase in the concentration of phosphorus with the increase of the phosphorus rates, and lower concentration of this nutrient occurred in the roots and in culms + sheaths. The activity of acid phosphatase of signal grass and colonião grass decreased with the increase of phosphorus. The critical levels of phosphorus in the plant changed from 1.17 to 2.71 g kg⁻¹ for signal grass and from 1.47 to 2.76 g kg⁻¹, for colonião grass. The critical level for acid phosphatase activity was about 25 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ FW for signal grass and 20 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ FW for colonião grass.

5.3 Introdução

A maior parte dos cultivares de forrageiras tropicais utilizadas em pastagens apresenta-se adaptada às condições predominantes nos solos tropicais com alta disponibilidade de alumínio e baixa de fósforo, uma vez que foram selecionados primariamente vislumbrando-se sistemas de produção com baixo aporte de insumos. Mesmo os genótipos cujas recomendações de cultivo são para solos de média a alta fertilidade (Nunes et al., 1984) têm sido cultivados em áreas marginais, levando a um rápido declínio na produtividade e longevidade destas pastagens.

A baixa disponibilidade de fósforo no solo não permite um bom perfilhamento, proporcionando um espaço livre no pasto para o crescimento de plantas invasoras menos exigentes em fósforo (Werner, 1986). Além de reduzir o crescimento das plantas, baixos níveis de fósforo no solo resultam em redução na concentração desse nutriente na matéria seca, causando danos aos animais que dela se alimentam, e entre esses danos está a redução da fertilidade e do desenvolvimento dos animais jovens (Malavolta et al., 1974).

Respostas em aumento no rendimento das pastagens à aplicação de fósforo são muito freqüentes e significativas. Uma das ferramentas utilizadas para mensurar e auxiliar na diagnose de deficiência de nutrientes e nas predições de requerimentos de fertilizantes pelas plantas é o nível crítico interno do nutriente. A determinação de níveis críticos de fósforo para as espécies forrageiras necessita ser estudada, visando relacioná-las com características que permitam prever com certa segurança a quantidade de fósforo adequada a um bom desenvolvimento das plantas (Bates, 1971).

Os níveis críticos internos de fósforo nas plantas encontrados para espécies do gênero *Brachiaria*, estão entre 1,1 a 2,5 g kg⁻¹ (Guss et al., 1990; Corrêa, 1991; Hoffmann et al., 1995), e para espécies do gênero *Panicum*

situam-se entre 1,4 a 2,9 g kg⁻¹ (Andrew & Robins, 1971; Meirelles et al., 1988; Corrêa, 1991; Hoffmann et al., 1995).

McLachlan et al. (1987) relataram que, embora a concentração de fósforo no tecido foliar seja extensivamente usada como um indicador da deficiência de fósforo em plantas, tem-se demonstrado que sob condições de estresse, eventos bioquímicos auxiliam na caracterização da nutrição de fósforo em plantas. Algumas alterações bioquímicas, quando propriamente caracterizadas, podem ser de grande auxílio para desenvolver uma diagnose nutricional rápida e confiável.

Geralmente, as enzimas do tecido foliar respondem à presença de um elemento necessário a sua formação e/ou atividade. Especificamente para o fósforo, sabe-se que a enzima fosfatase ácida apresenta maior atividade em situação de deficiência de fósforo em diversas plantas, tornando-a uma ferramenta útil para identificação da nutrição de fósforo em tecidos vegetais (Besford, 1979ab; McLachlan, 1982; O'Connel & Grove, 1985; Silva & Basso, 1993).

O aumento no nível da atividade da fosfatase correlacionou-se bem com uma baixa concentração de fósforo em numerosas espécies, como tomate (Besford, 1979b), de trigo (Barrett-Lennard & Greenway, 1982), cana-de-açúcar (Silva & Basso, 1993), em gramíneas forrageiras (Silva, 1996), etc. A partir desses resultados, vários autores (Besford 1978, 1979ab; McLachlan, 1982; McLachlan & De Marco, 1982; Silva, 1996) sugeriram que a determinação da atividade da fosfatase ácida em folhas tem potencial como indicador bioquímico da deficiência de fósforo.

Objetivou-se neste trabalho, avaliar as respostas em crescimento, nutrição em fósforo e atividade da fosfatase ácida no tecido vegetal das espécies de *Brachiaria decumbens* e *Panicum maximum* cv. Colonião, em função da aplicação de doses de fósforo no solo, visando obter valores de nível crítico interno de fósforo e de nível crítico da atividade da fosfatase ácida foliar.

5.4 Material e Métodos

5.4.1 Localização, espécies forrageiras e época

Foram realizados dois experimentos em casa-de-vegetação, na Área de Nutrição Mineral de Plantas, do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, em Piracicaba, SP. Em um dos experimentos foi utilizado o capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) e no outro o capim-colonião (*Panicum maximum* Jacq. cv. Colonião). Os experimentos foram conduzidos num mesmo período, que compreendeu de 7 de abril a 27 de maio de 1998.

5.4.2 Solo

O solo utilizado no experimento foi um Latossolo Vermelho Amarelo, coletado na região de São Carlos-SP, sob pastagem nativa. O solo foi coletado numa camada de 0-0,2 m de profundidade, foi secado ao ar e peneirado em malha de 2 mm.

A amostra analisada física e quimicamente nos laboratórios do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP apresentou os seguintes valores: argila = 300 g kg⁻¹; silte = 137 g kg⁻¹; areia = 563 g kg⁻¹; d_s = 1,2 g cm⁻³; pH em CaCl₂ 0,01mol L⁻¹ = 4,0; M.O. = 20,0 g kg⁻¹; P (resina) = 3,0 mg dm⁻³; K = 1,1 mmol_c dm⁻³; Ca = 8,0 mmol_c dm⁻³; Mg = 3,0 mmol_c dm⁻³; S-SO₄ = 44,0 mg dm⁻³; H+Al = 47,0 mmol_c dm⁻³; SB = 12,1 mmol_c dm⁻³; T = 59,1 mmol_c dm⁻³; V = 20%; Cu = 1,0 mg dm⁻³; Fe = 52,2 mg dm⁻³; Mn = 4,1 mg dm⁻³; Zn = 0,4 mg dm⁻³.

5.4.3 Preparo dos vasos e calagem

A quantidade de solo utilizada foi de seis quilogramas, acondicionada em sacos plásticos e colocada em vasos de polietileno com capacidade para 5 dm³. Cada vaso recebeu 2,52 g de CaO e 0,6 g de MgO, com o objetivo de elevar a saturação por bases para 60%. Os óxidos de cálcio e magnésio foram adicionados ao solo e misturados por cinco minutos, buscando homogeneizá-los.

Os vasos foram irrigados com água até próximo à capacidade de campo e foram mantidos por 30 dias, até a semeadura das espécies forrageiras, cobertos com lona plástica preta para evitar perda excessiva de água por evaporação durante o período de incubação.

5.4.4 Adubação, doses de fósforo e delineamento experimental

Foram utilizadas oito doses de fósforo correspondentes a: 0, 20, 40, 60, 80, 160, 240 e 320 mg de kg⁻¹ de solo. O delineamento adotado foi o de blocos completos ao acaso, com cinco repetições.

Após o período de incubação com os corretivos, o solo foi novamente secado e recebeu os nutrientes através da aplicação de soluções. Os micronutrientes foram adicionados em todos os vasos antes da semeadura do capim-braquiária e do capim-colonião, no dia 4 de abril (Tabela 10). As fontes de nutrientes foram diluídas em água deionizada e cada vaso recebeu 50 mL de solução. Em 6 de abril foram aplicadas as soluções contendo os macronutrientes (Tabela 10) e as doses de fósforo (Tabela 11), cujas quantidades foram supridas pela aplicação de 100 mL de solução por vaso.

Tabela 10. Fontes de nutrientes utilizadas e doses aplicadas no plantio de capim-braquiária e capim-colonião.

Nutriente	Dose(mg kg ⁻¹)	Fonte	(g/vaso)	Fonte	(g/vaso)
N	54,2	(NH ₄) ₂ SO ₄	(1)	NH ₄ H ₂ PO ₄	(1)
K	151	KCl	(2)	KH ₂ PO ₄	(2)
S	51,6	(NH ₄) ₂ SO ₄	(3)	MgSO ₄	(3)
Ca	46,5	CaCl ₂	(4)	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	(4)
Mg	61,9	MgCl ₂	(5)	MgSO ₄	(5)
Cu	1,5	CuSO ₄ .5H ₂ O	0,03539	-	-
Zn	2,0	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,05267	-	-
Mo	0,2	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,00302	-	-
B	0,2	H ₃ BO ₃	0,00627	-	-

1 Doses 0, 20, 40, 60, 80 = 1,53; dose 160 = 1,021 g NH₂SO₄/vaso; Doses 240, 320 = 2,671 g NH₄H₂PO₄/vaso

2 Dose 0 = 1,73; dose 20 = 1,44; dose 40 = 1,15; dose 60 = 0,86; dose 80 = 0,58 g KCl/vaso; Dose 20 = 0,526; dose 40 = 1,053; dose 60 = 1,533; dose 80 = 2,106; doses 160 240, 320 = 3,159 g KH₂PO₄/vaso

3 Doses 0, 20, 40, 60, 80 = 1,53; dose 160 = 1,021 g NH₂SO₄/vaso; Dose 160 = 0,463; doses 240, 320 = 1,393 g MgSO₄/vaso

4 Doses 0, 20, 40, 60, 80, 160 240 = 0,859 g CaCl₂/vaso; Dose 320 = 1,951 g g Ca(H₂PO₄)/vaso

5 Doses 0, 20, 40, 60, 80 = 1,107; dose 160 = 0,736 g MgCl₂/vaso; Dose 160 = 0,463; doses 240, 320 = 1,393 g MgSO₄/vaso

5.4.5 Condições de instalação e condução do experimento

As sementes das duas espécies foram semeadas em 7 de abril de 1998, diretamente nos vasos com solo, germinando em 12 de abril de 1998. Após a emergência, foram executados desbastes periódicos nos vasos, por um período de 14 dias, até deixar cinco plantas por vaso.

Durante a condução do experimento foram realizadas duas adubações em cobertura com nitrogênio, aos 18 e 33 dias após a emergência. Em cada adubação aplicou-se o nitrogênio na dose de 50 mg kg⁻¹ de solo, utilizando-se a uréia.

Tabela 11. Fontes e doses de fósforo utilizadas no experimento.

Dose de fósforo (mg kg ⁻¹)	Fonte	(g/vaso)	Fonte	(g/vaso)
0	-	0,000	-	0,000
20	KH ₂ PO ₄	0,526	-	0,000
40	KH ₂ PO ₄	1,053	-	0,000
60	KH ₂ PO ₄	1,533	-	0,000
80	KH ₂ PO ₄	2,106	-	0,000
160	KH ₂ PO ₄	3,159	-	0,000
240	KH ₂ PO ₄	3,159	NH ₄ H ₂ PO ₄	2,671
320	KH ₂ PO ₄	3,159	NH ₄ H ₂ PO ₄	2,671
	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	1,951	-	0,000

A partir da semeadura das duas espécies forrageiras, os vasos foram irrigados diariamente para que a concentração de água no solo permanecesse próximo da capacidade de campo.

5.4.6 Coleta e análise do material vegetal

Com base em experimento anterior, estabeleceu-se a época de amostragem para análise da atividade da fosfatase ácida em 45 dias após a emergência das plântulas.

Realizou-se a contagem do número de perfilhos por vasos e foi cortada uma porção da lâmina foliar de uma das duas primeiras folhas completamente expandidas (lâminas de folhas novas) a partir do ápice da planta, para a determinação da atividade de fosfatase ácida. O restante daquelas lâminas foliares cortadas para determinação da atividade da enzima foi então utilizado para a determinação da concentração de fósforo. A parte da planta amostrada foi escolhida em conformidade com o sugerido por Monteiro et al. (1995).

para a determinação da concentração de fósforo. A parte da planta amostrada foi escolhida em conformidade com o sugerido por Monteiro et al. (1995).

5.4.6.1 Produção de matéria seca e concentração de fósforo no tecido

Para as determinações de produção de matéria seca, dividiu-se a parte aérea da planta em: folhas não-expandidas (FNE) - as folhas sem lígula visível; lâminas de folhas novas (LN) - primeiro par de folhas expandidas a partir do ápice da planta; lâminas de folhas velhas (LV) - lâminas das demais folhas e colmos mais bainhas (C+B). A produção total da parte aérea de ambas as espécies foi obtida somando-se os valores de peso de material seco de cada parte amostrada. As raízes (Raiz) foram lavadas com jatos de água para retirada da sílica, utilizando-se água de torneira. Todo o material colhido foi posto a secar em estufa com circulação forçada de ar a 65°C, por um período de 72 horas.

Após a pesagem do material vegetal secado, as amostras de cada porção da planta foram moídas para a determinação da concentração de fósforo, com emprego da digestão nítrico-perclórica, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1989).

5.4.6.2 Atividade de fosfatase ácida no tecido foliar

Para a avaliação da atividade de fosfatase ácida foram utilizados 100 mg de fragmentos de 3 mm das lâminas de folhas novas, excluindo-se a nervura principal. Utilizou-se a metodologia descrita por McLachlan (1982), com as modificações sugeridas por Silva & Basso (1993): o tecido fresco permaneceu incubado com 8,0 mL de p-nitrofenol $250 \mu \text{ mol L}^{-1}$ em tampão acetato de sódio ($\text{CH}_3\text{-COONa}$) $0,1 \text{ mol L}^{-1}$, com pH ajustado para 4,0 e posteriormente foi colocado em banho-maria por 30 minutos a 30°C. Após esse

formado na hidrólise e expressando-se a atividade da fosfatase ácida em micromol de substrato hidrolisado (para-nitrofenilfosfato) por hora por grama de tecido vegetal fresco ($\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$).

5.4.7 Análises estatísticas

Os resultados foram submetidos à análise estatística de variância, e nos casos de significância no teste F para doses de fósforo, efetuou-se o estudo das regressões.

Foi realizada a análise de regressão polinomial para atividade da fosfatase ácida, produção de matéria seca e concentração de fósforo, bem como teste de comparação de médias (Tukey 5%) para o perfilhamento, e estudo de correlações entre a concentração de fósforo, produção de matéria seca e atividade de fosfatase ácida. O procedimento estatístico utilizado foi o SAS (SAS Institute, 1988).

5.5 Resultados e Discussão

5.5.1 Brachiaria decumbens

5.5.1.1 Produção de matéria seca e número de perfilhos

A produção de matéria seca da parte aérea e das raízes foi afetada significativamente ($P < 0,01$) pelas doses de fósforo e o modelo que melhor ajustou a produção de matéria seca foi o de segundo grau (Figura 20).

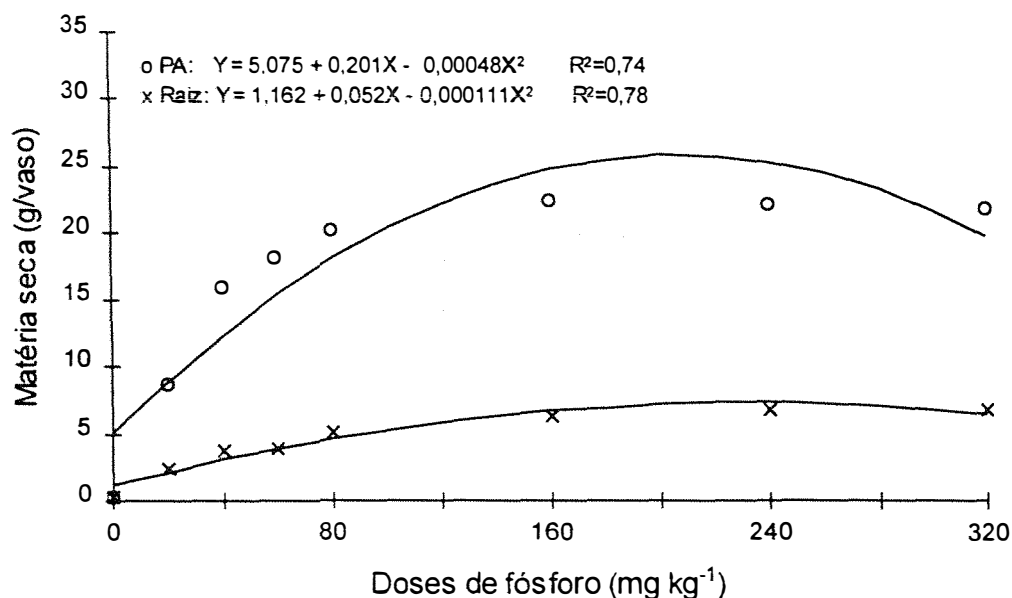


Figura 20. Produção de matéria seca da parte aérea (PA) e das raízes (R) de capim-braquiária em função das doses de fósforo aplicadas ao solo.

A máxima produção de matéria seca na parte aérea ocorreu com o equivalente a 207,15 mg kg⁻¹ de solo, o que corrobora os resultados verificados por Hoffman et al. (1995), no qual a dose de fósforo que propiciou a produção máxima de matéria seca na parte aérea foi de 220 mg kg⁻¹. Já para as raízes a máxima produção de matéria seca foi obtida com 234,43 mg kg⁻¹. Corrêa (1991), constatou que a resposta da cultura foi acentuada até dose de 140 mg kg⁻¹, enquanto que Guss et al. (1990) observaram resposta até a dose de 180 mg kg⁻¹ no primeiro crescimento e 90 mg kg⁻¹ na rebrota.

O capim-braquiária mostrou uma produção de matéria seca muito reduzida na ausência do nutriente (Figuras 20 e 21), conforme já relatado por Corrêa (1991) e Hoffman et al. (1995). De acordo com Soares Filho (1994), as braquiárias são espécies que têm elevado potencial de produção em solos férteis e corrigidos com adubações, não produzindo quantidades satisfatórias

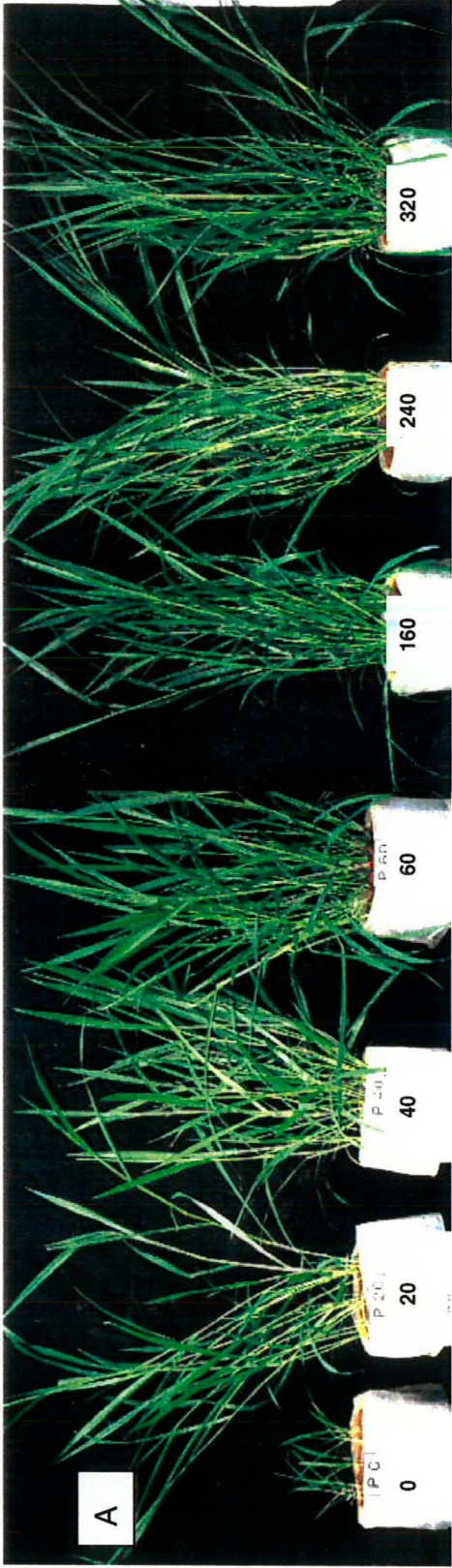


Figura 21. Fotografia das plantas mostrando o crescimento de capim-braquiária (A) e capim-colonião (B) em função das doses de fósforo no solo.

de forragem em solos com baixos teores de fósforo. Todavia, Pereira (1986) contradisse tal afirmativa, relatando trabalhos nos quais as braquiárias, de modo geral, mostraram não requer aplicações de altos níveis de fósforo no solo, pois são consideradas plantas capazes de vegetar em solos com baixos teores de fósforo disponível.

O número total de perfilhos por vaso foi significativamente ($P < 0,01$) influenciado pelas doses de fósforo (Figura 22). Quando não foi aplicado fósforo no solo não houve emissão de perfilhos laterais e as plantas permaneceram somente com os cinco perfilhos iniciais. Com aumento da dose de fósforo ocorreu um concomitante aumento no número de perfilhos, até a dose 80 mg kg^{-1} de solo, não sendo a elevação da dose de fósforo acima de 80 mg kg^{-1} acompanhada de elevação no número de perfilhos.

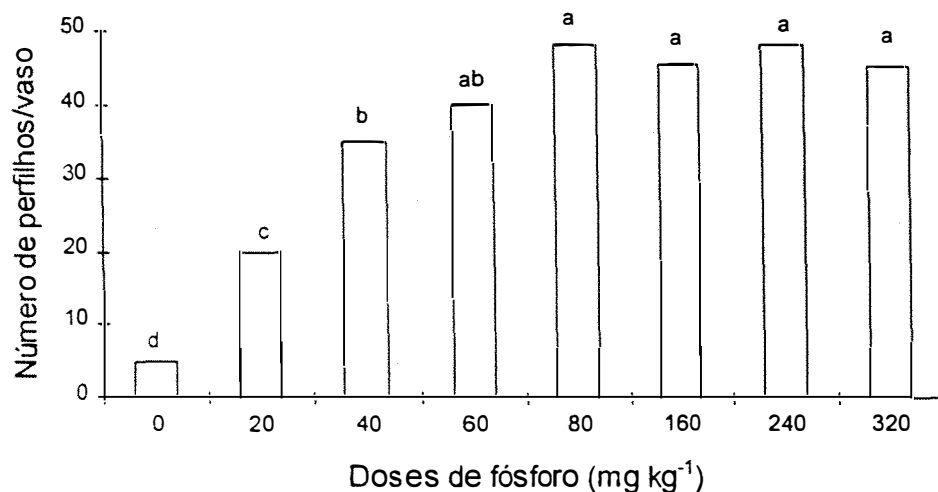


Figura 22. Número de perfilhos do capim-braquiária, em função das doses de fósforo aplicadas ao solo (Valores seguidos pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.)

Corrêa (1991) ressaltou que a *Brachiaria decumbens* foi a espécie que apresentou maior capacidade de perfilhamento, quando comparada à

Brachiaria brizantha e *Panicum maximum*. Essa maior produção de perfilhos da *Brachiaria decumbens* também foi constatada por Guss et al. (1990) e Hoffman et al. (1995) com outras espécies forrageiras. Esta elevada capacidade de perfilhamento é responsável, em parte, pela rapidez de estabelecimento e pela boa cobertura do solo, comumente observada para o capim-braquiária (Corrêa, 1991; Hoffman et al., 1995).

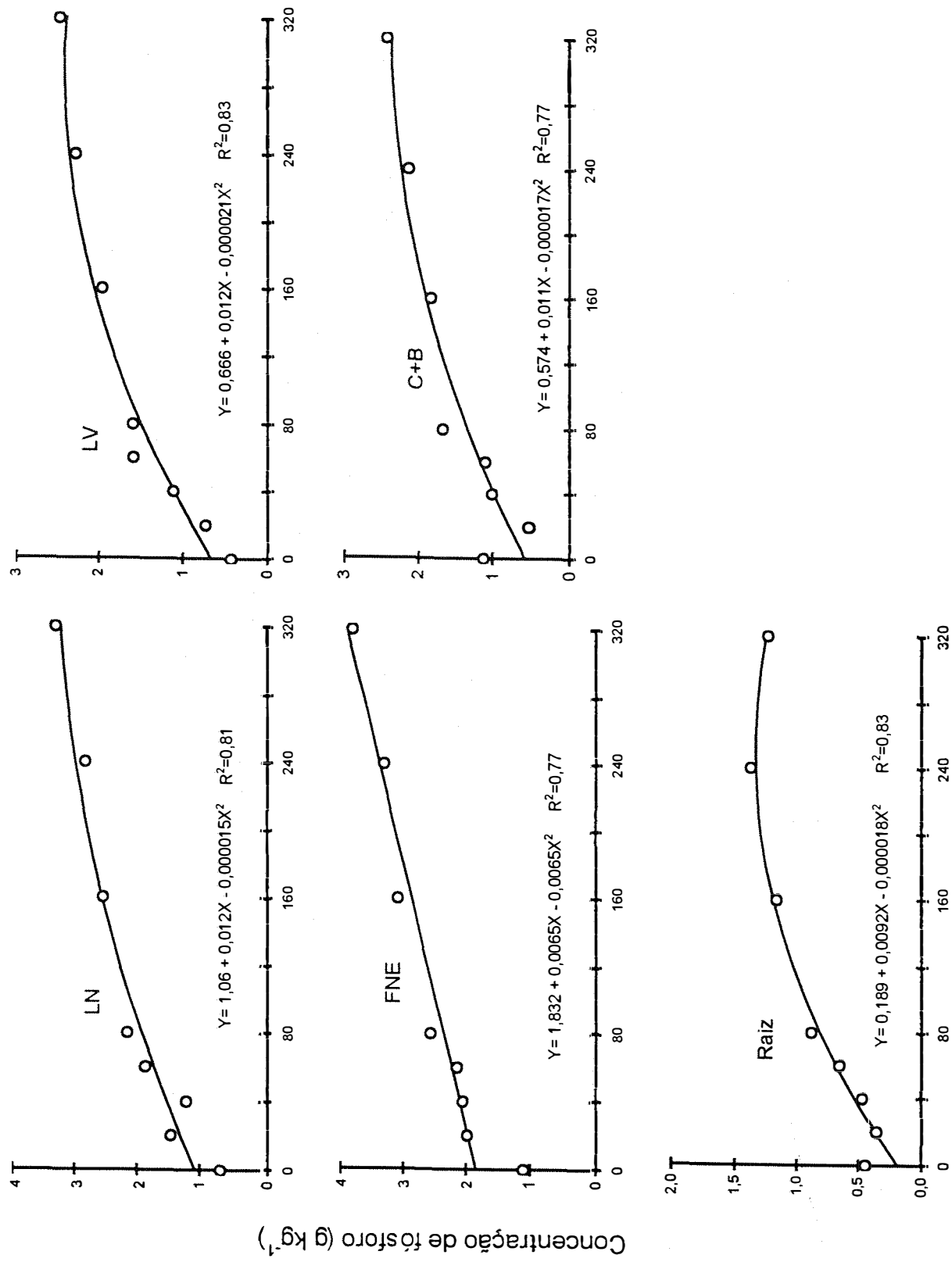
5.5.1.2 Concentração de fósforo na planta

A concentração de fósforo nas folhas não-expandidas, nas lâminas de folhas velhas, nas lâminas de folhas novas, nos colmos mais bainhas e nas raízes foi significativamente ($P < 0,01$) influenciada pelas doses adicionadas de fósforo.

O efeito das doses de fósforo na concentração de fósforo em todas as partes amostradas da planta, à exceção das folhas não-expandidas, ajustou-se a um modelo quadrático. Nas folhas não-expandidas ocorreu um aumento linear na concentração de fósforo com o incremento nas doses de fósforo no solo (Figura 23).

A concentração média de fósforo observada nesse experimento variou com a parte amostrada da planta, estando as concentrações mais baixas nas raízes e nos colmos mais bainhas. Isto está de acordo com resultados apresentados por Silva (1996) e Almeida (1998).

A concentração de fósforo nas várias partes analisadas esteve na faixa de 0,35 a 3,84 g kg⁻¹, situando-se dentro de valores citados para essa espécie na literatura. Dentro das doses estudadas, verificou-se um aumento na concentração de fósforo em todos os componentes da planta com a elevação da dose de fósforo aplicada ao solo, corroborando os resultados de Guss et al. (1990), Corrêa (1991) e Hoffman et al. (1995).



Doses de fósforo (mg kg⁻¹)

Figura 23. Concentração de fósforo em lâminas de folhas novas (LN), folhas velhas (LV), folhas não-expandidas (FNE), colmos+bainhas (C+B) e raiz de capim-braquiária em função das doses de fósforo no solo.

Uma vez que a produção de matéria seca do capim-braquiária atingiu o máximo na dose de 209 mg kg⁻¹ de solo, os aumentos na concentração de fósforo observados até a maior dose de fósforo demonstram que a planta acumulou o nutriente no tecido, com absorção de quantidades do nutriente superiores às necessárias.

5.5.1.3 Atividade da fosfatase ácida foliar

A atividade da fosfatase ácida no capim-braquiária apresentou efeito significativo ($P < 0,01$) das doses de fósforo no solo, e a análise de regressão mostrou um ajuste dos resultados a modelo quadrático.

A atividade foliar da fosfatase ácida em capim-braquiária foi reduzida com o incremento nas doses de fósforo até a dose 263 mg kg⁻¹ (Figura 24). Reduções significativas na atividade da fosfatase à medida que a concentração de fósforo em solução nutritiva aumentava já foram relatadas entre outros, por Silva (1996) para o capim-braquiária e por Garcia & Ascencio (1992) para tomate. Os valores determinados para a atividade da fosfatase variaram de 22 a 32 $\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, concordando com os resultados já discutidos anteriormente para esta espécie, quando conduzida em solução nutritiva.

A atividade de fosfatase ácida em capim-braquiária mostrou os valores mais baixos quando ao solo foram aplicadas as mais baixas doses de fósforo e que correspondem a faixa de adição de fósforo onde foi observada maior incremento na produção de matéria seca (Figura 20). O'Connell & Grove (1985) observaram que a atividade de fosfatase ácida em *Eucalyptus diversicolor* aumentou significativamente para níveis menores que 200 mg kg⁻¹ de solo, correspondendo a faixa de adição de fósforo em que foi observada maior incremento na produção de matéria seca das folhas.

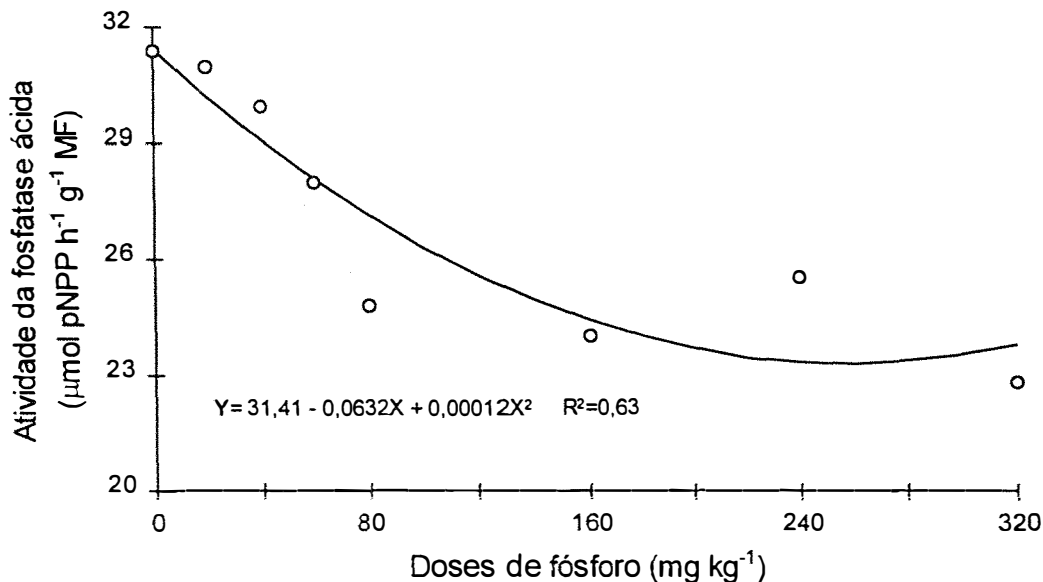


Figura 23. Atividade de fosfatase ácida do capim-braquiária em função das doses de fósforo aplicadas ao solo.

Efetua-se o estudo das correlações entre a produção de matéria seca da parte aérea, o número de perfilhos, a concentração de fósforo nas partes amostradas da planta e a atividade da fosfatase ácida no capim-braquiária. Os coeficientes de correlação encontram-se na Tabela 12.

Todos os parâmetros avaliados apresentaram coeficientes de correlação significativos e negativos com a atividade da fosfatase ácida. Os valores obtidos para o coeficiente de correlação entre a atividade enzimática e a produção de matéria seca e a concentração de fósforo na planta não foram muito elevados, e variaram de -0,59 a -0,70. Silva (1996) observou coeficientes de correlação da atividade da fosfatase variando de -0,77 a -0,89 com a produção de matéria seca da parte aérea e de -0,52 a -0,77 com a concentração de fósforo no capim-braquiária.

Tabela 12. Coeficientes de correlação entre a atividade da fosfatase ácida e a produção de matéria seca da parte aérea, número de perfilhos e concentração de fósforo em capim-braquiária.

Parâmetros avaliados	Fosfatase ácida
Matéria seca da parte aérea	-0,59**
Número de perfilhos	-0,63**
Concentração de fósforo em lâminas de folhas novas	-0,67**
Concentração de fósforo em lâminas de folhas velhas	-0,70**
Concentração de fósforo em folhas não expandidas	-0,70**
Concentração de fósforo em colmos mais bainhas	-0,67**
Concentração de fósforo em raízes	-0,70**

**significativo a 1% pelo teste de Pearson

McLachlan & DeMarco (1982) estabeleceram coeficientes de correlação entre a atividade da fosfatase ácida e o conteúdo de fósforo na parte aérea de plantas de trigo, obtendo coeficientes de correlação de -0,96 e -0,84, aos 19 e 26 dias de idade. Tadano & Sakai (1991) também relataram correlação negativa significativa de -0,87 entre o conteúdo de fósforo e a atividade da fosfatase ácida em várias plantas.

5.5.1.4 Nível crítico de fósforo

Utilizando-se as equações de regressão obtidas entre a produção de matéria seca e as doses de fósforo no solo foi estimada a dose crítica de fósforo para 90% da produção máxima de matéria seca da parte aérea e raízes do capim-braquiária. As doses de fósforo estimadas para atingir 90% da produção máxima foram 133,8 e 153,3 mg kg⁻¹.

Doses críticas entre 149 e 157 mg kg⁻¹ solo foram verificadas por Corrêa (1991) para o capim-braquiária. Guss et al. (1990) encontrou valores

elevados e equivalência na dose crítica entre as braquiárias decumbens e brizantão, com doses de fósforo entre 156 e 300 mg kg⁻¹, conforme o solo. Elevada exigência em fósforo pelo capim-braquiária também foi constatada por Fonseca et al. (1988).

Para o cálculo do nível crítico de fósforo no tecido e da atividade da fosfatase ácida foliar adotou-se o conceito estabelecido por Ulrich & Hill (1973), o qual é representado pela concentração do nutriente (atividade da enzima) que corresponde a 90% da produção máxima da cultura.

Os níveis críticos internos obtidos nas partes amostradas da planta foram: 1,17 g kg⁻¹ para as raízes, 2,71 g kg⁻¹ para as folhas não-expandidas, 1,94 g kg⁻¹ para as lâminas de folhas velhas, 2,39 g kg⁻¹ para as lâminas de folhas novas e 1,75 g kg⁻¹ para os colmos mais bainhas. Estes valores estão condizentes com os valores de nível crítico citados na literatura para a *Brachiaria decumbens*, que variam entre 1,0 a 2,6 g kg⁻¹ (Guss et al., 1990; Corrêa, 1991; Fonseca et al., 1992; Hoffman et al., 1995).

Estimou-se também o nível crítico da atividade da fosfatase ácida, o qual correspondeu a 25,16 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF. McLachlan et al. (1987) determinaram a atividade da fosfatase associada a 90% do rendimento máximo de grãos de trigo, a qual entre 14,08 e 29,58 μmol p-NPP min⁻¹ g⁻¹ MF.

5.5.2 *Panicum maximum* cv. colômbio

5.5.2.1 Produção de matéria seca e número de perfilhos

A produção de matéria seca da parte aérea e das raízes do capim-colômbio foi afetada significativamente (P<0,01) pelas doses de fósforo, ajustando-se a equações de segundo grau (Figura 25).

A partir das equações de segundo grau foram determinados os pontos de máxima produção de matéria seca na parte aérea e nas raízes do capim-

colonião. Para a parte aérea, a máxima produção foi atingida com dose de fósforo equivalente a 200 mg kg⁻¹ de solo, similar ao reportado por Hoffman et al. (1995). Costa et al. (1983) observaram que o capim-colonião apresentou máximo rendimento de matéria seca da parte aérea na faixa de 213 a 274 mg kg⁻¹ de solo, conforme os cortes realizados. A produção de matéria seca das raízes atingiu o máximo com dose de fósforo de 220 mg kg⁻¹ de solo.

Corrêa (1991) constatou resposta acentuada do *Panicum maximum* até dose de 140 mg kg⁻¹ no primeiro corte, em estágio de desenvolvimento semelhante ao deste ensaio (50 dias após a semeadura).

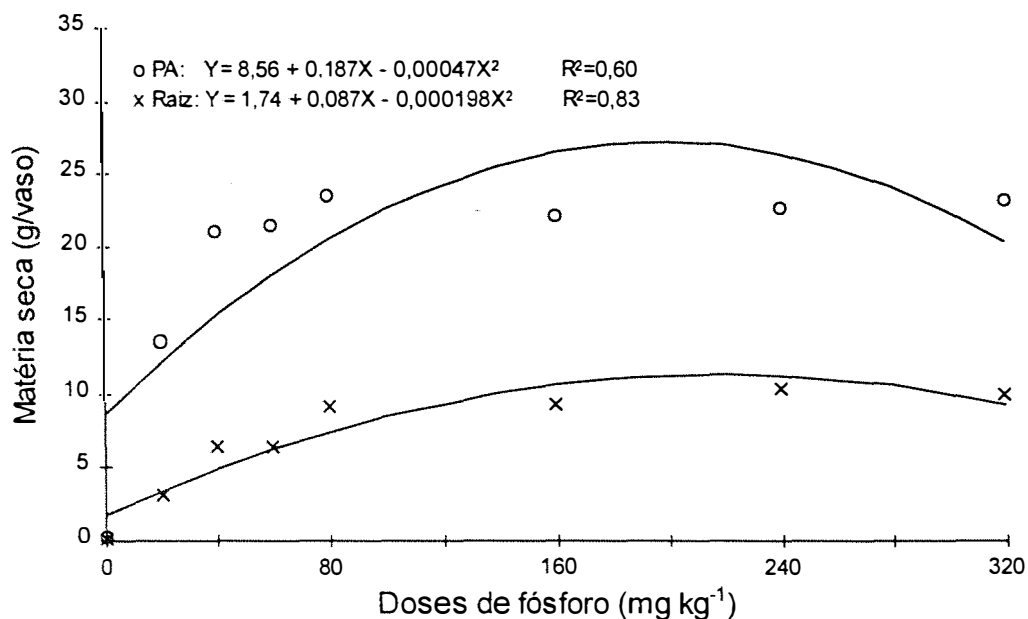


Figura 25. Produção de matéria seca da parte aérea (PA) e das raízes (Raiz) de capim-colonião em função das doses de fósforo aplicadas ao solo.

As produções atingidas pelo capim-colonião foram muito reduzidas quando não se adicionou fósforo ao solo (Figura 20), apresentando incrementos acentuados já com pequenas adições do nutriente na adubação. O baixo rendimento da matéria seca da parte aérea na ausência de fósforo

assemelha-se às condições descritas por Andrew & Robins (1971), Meirelles et al. (1988) e Corrêa (1991). Costa et al. (1983) ressaltam que o capim-colonião foi responsivo a altas doses de fósforo no solo, contudo, os maiores incrementos em produção foram obtidos com a aplicação de 50 mg kg^{-1} .

O número de perfilhos por vaso sofreu influência significativa ($P < 0,01$) das doses de fósforo, variando de 5 a 35,5 perfilhos/vaso (Figura 26). Na dose zero de fósforo, observou-se que as plantas apresentaram apenas a haste mãe, sem qualquer perfilho basal, tendo seu crescimento paralisado logo no início do ciclo vegetativo, corroborando os resultados de Corrêa (1991).

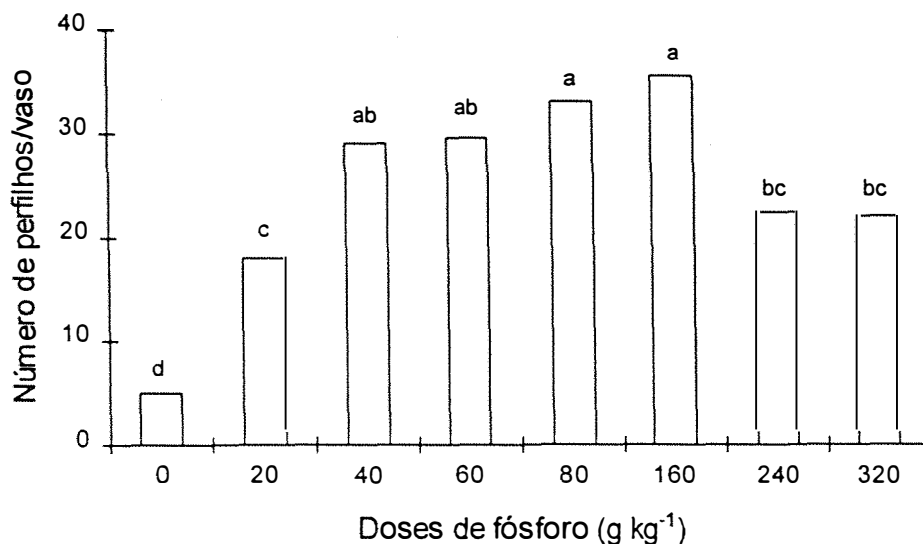


Figura 26. Número de perfilhos em capim-colonião em função das doses de fósforo aplicadas ao solo (Valores seguidos pela mesma letra não diferem pelo teste de Tukey a 5%.)

Um incremento marcante no perfilhamento foi constatado até a aplicação de 40 mg kg^{-1} de solo, que não diferiu significativamente da quantidade máxima de perfilhos atingida, nas doses 80 e 160 mg kg^{-1} de solo. Em doses mais elevadas de fósforo (240 e 320 mg kg^{-1} de solo), ocorreu uma redução no número de perfilhos/vaso.

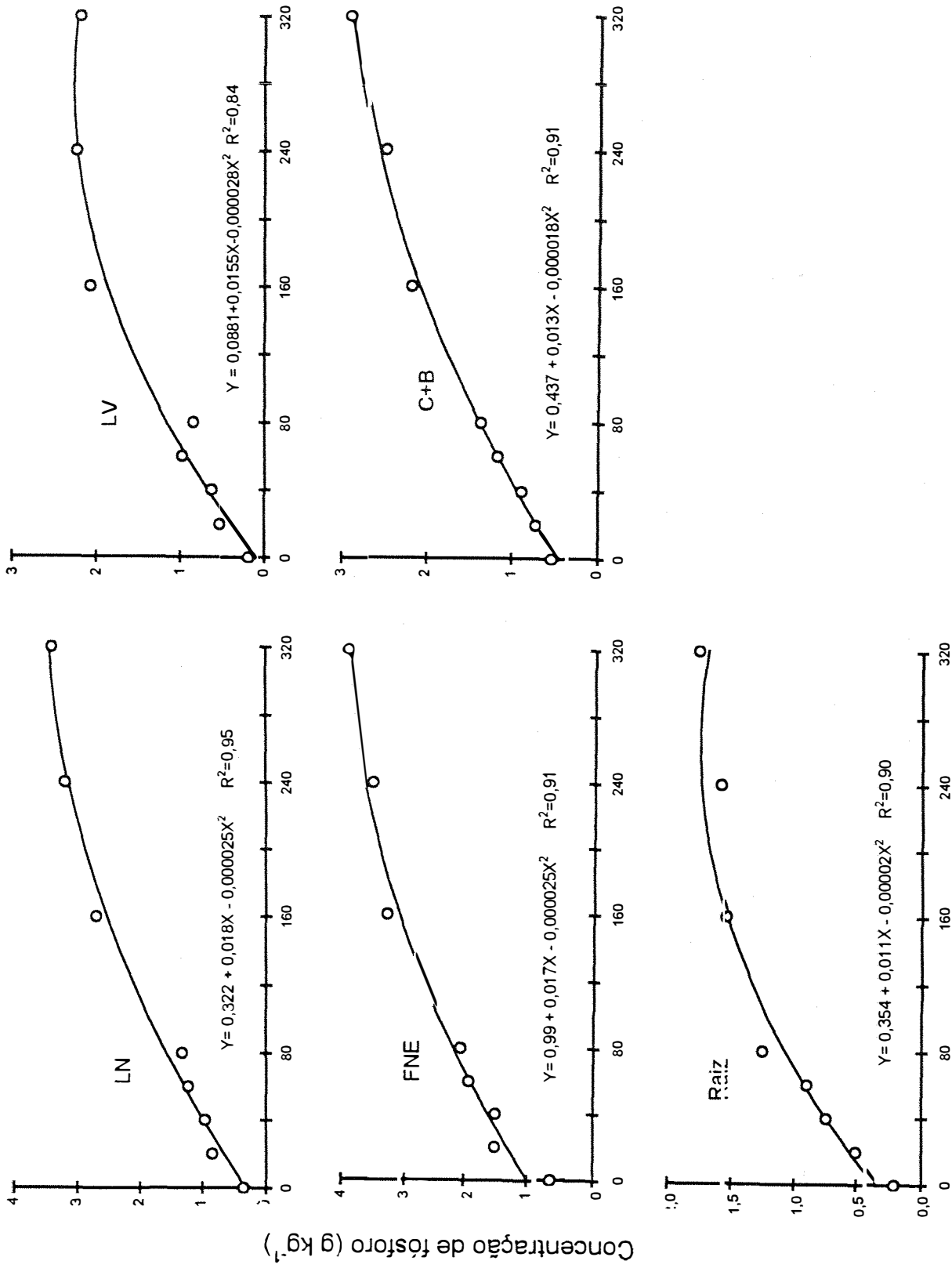
5.5.2.2 Concentração de fósforo na planta

A concentração de fósforo nas diversas partes das plantas foi afetada significativamente ($P < 0,01$) pelas doses de fósforo no solo. A análise de regressão para as folhas não-expandidas, as lâminas de folhas velhas, as lâminas de folhas novas, colmos mais bainhas e as raízes ajustaram-se a uma equação de segundo grau (Figura 27).

Meirelles et al. (1988), avaliando o efeito de fósforo na concentração desse nutriente em partes da planta, indicaram que a concentração de fósforo aumentou de forma linear, proporcionalmente às doses de fósforo empregadas. Resultado similar também foi encontrado por Dias Filho (1995) para a concentração de fósforo em vários cultivares de *Panicum maximum*, incluindo o capim-colonião.

A concentração de fósforo no tecido variou de $0,20 \text{ g kg}^{-1}$ em lâminas de folhas velhas, na ausência de adubação fosfatada no solo, a $3,86 \text{ g kg}^{-1}$ em folhas não-expandidas na dose de fósforo de 320 mg kg^{-1} . A concentração de fósforo encontrada nas doses mais baixas foi muito inferior à relatada por Andrew & Robins (1971), Meirelles et al. (1988) e Dias Filho (1995) para o capim-colonião, considerando a parte aérea como um todo.

O capim-colonião e o capim-braquiária apresentaram concentração de fósforo no tecido vegetal semelhantes quando cultivadas em solo, ao contrário de verificado para os experimentos conduzidos em solução nutritiva, quando a braquiária apresentou concentrações mais elevadas no tecido. Possivelmente, isto deve-se ao fato de ambas as espécies apresentarem rendimento de massa seca semelhante, indicando que nesse caso não ocorreu o efeito de diluição. Silva (1996) não detectou diferenças significativas entre a concentração de fósforo da parte aérea do capim-braquiária e *Panicum maximum* cv. IZ-1, cultivadas em mesmas doses de fósforo e igual período de crescimento.



Doses de fósforo (mg kg⁻¹)

Figura 27. Concentração de fósforo em lâminas de folhas novas (LN), folhas velhas (LV), folhas não-expandidas (FNE), colmos+bainhas (C+B) e raiz de capim-colonião em função das doses de fósforo no solo.

A concentração de fósforo apresentou pequenas variações em função da parte amostrada da planta, com as raízes e as lâminas de folhas velhas apresentando valores mais baixos que os demais componentes da planta. Em todas as doses de fósforo as folhas não-expandidas apresentaram mais elevada concentração de fósforo, demonstrando a remobilização desse nutriente, concordando com os resultados apresentados por Meirelles et al. (1988).

Besford (1979a) observou que, independente do tratamento aplicado, a concentração de fósforo em tomateiro foi mais alta nas folhas em expansão, com a concentração sendo cerca de duas vezes maior que aquela nas folhas maduras.

5.5.2.3 Atividade da fosfatase ácida foliar

A atividade da fosfatase ácida em capim-colonião teve efeito significativo ($P < 0,01$) das doses de fósforo adicionadas ao solo, com os resultados ajustando-se a modelo quadrático.

A atividade foliar da fosfatase ácida decresceu com o aumento das doses de fósforo até a dose 204 mg kg^{-1} (Figura 28). A diminuição na atividade da fosfatase em capim-colonião com o incremento dos níveis de fósforo também foi verificada por Silva (1996), que reportou reduções lineares no primeiro corte e quadráticas no segundo corte. A atividade da enzima esteve entre 15 e $35 \text{ } \mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, similar ao relatado para o capim-braquiária e para o capim-colonião conduzido em solução nutritiva, como já relatado anteriormente. Resultados similares foram reportados por Silva (1998) para vários acessos de *Panicum maximum*.

Barret-Lennard & Greenway (1982), conduzindo experimento com plantas de trigo, observaram que a atividade da fosfatase aumentou quando a concentração de fósforo no tecido caiu abaixo da concentração crítica. Folhas

maduras com concentrações de fósforo mais elevadas que $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ apresentaram atividade de fosfatase solúvel de aproximadamente $0,5 \text{ } \mu\text{mol p-NPP min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$. Entretanto, a atividade da fosfatase aumentou em seis vezes quando a concentração de fósforo nas folhas caiu abaixo de $2,0 \text{ g kg}^{-1}$.

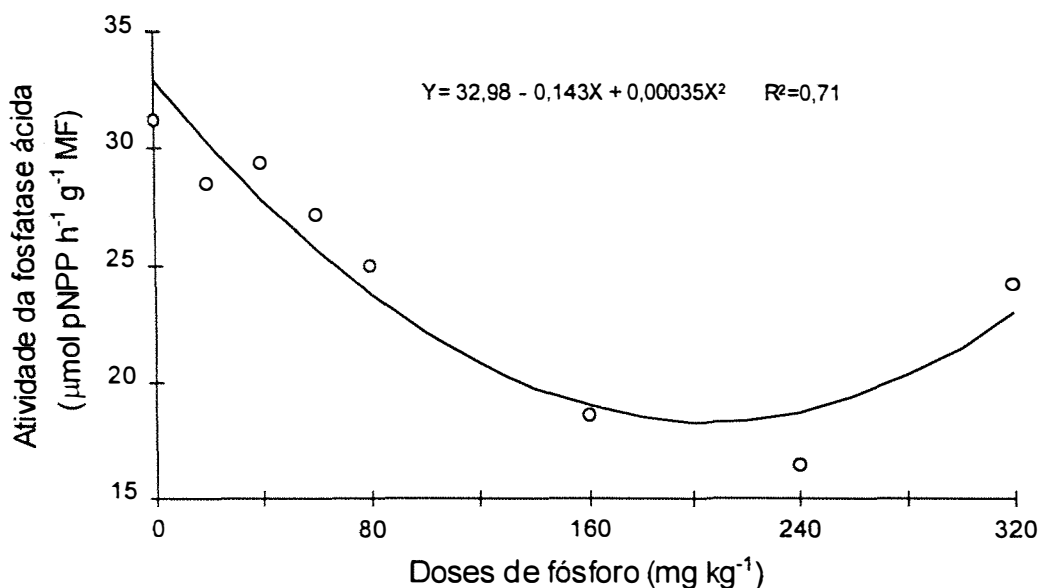


Figura 28. Atividade de fosfatase ácida em capim-colonião em função das doses de fósforo aplicadas ao solo.

Estudo de Besford (1979a) observou que em folhas de tomate a atividade da fosfatase ácida aumentou em oito vezes quando a concentração de fósforo caiu de $3,0$ para $0,7 \text{ g kg}^{-1}$, sendo um efeito específico do baixo nível de fósforo no substrato, uma vez que mudanças no fornecimento de outros nutrientes não causaram aumento na atividade da fosfatase ácida. Barret-Lennard et al. (1982) também verificaram que a atividade da fosfatase em extratos solúveis de folha de trigo aumentou cerca de duas e meia a três vezes quando a concentração de fósforo foi reduzida de $4,0$ para $1,07 \text{ g kg}^{-1}$.

Efetuuou-se o estudo das correlações entre atividade da fosfatase ácida e a produção de matéria seca da parte aérea, o número de perfilhos e

concentração de fósforo nos componentes da planta. O coeficiente obtido para a correlação entre a atividade enzimática e a produção de matéria seca não foi elevado (Tabela 13), sendo inferior aos coeficientes de correlação citados por Silva (1996) para a mesma espécie e que variaram de -0,89 a -0,97.

McLachland (1982) encontraram correlação significativa e negativa entre a atividade da fosfatase e a concentração e conteúdo de fósforo, durante estágios iniciais de desenvolvimento ($r=-0,87$ e $r=-0,86$, respectivamente). A atividade da fosfatase ácida também correlacionou-se significativamente com o rendimento final de grãos de trigo ($r=-0,79$).

Tabela 13. Coeficientes de correlação entre a atividade da fosfatase ácida e a produção de matéria seca da parte aérea, o número de perfilhos e a concentração de fósforo em capim-colonião.

Parâmetros avaliados	Fosfatase ácida
Matéria seca da parte aérea	- 0,44**
Número de perfilhos	n.s.
Concentração de fósforo em lâminas de folhas novas	- 0,74**
Concentração de fósforo em lâminas de folhas velhas	- 0,77**
Concentração de fósforo em folhas não expandidas	- 0,72**
Concentração de fósforo em colmos mais baixas	- 0,67**
Concentração de fósforo em raízes	- 0,69**

*, ** significativo a 5 e a 1% pelo teste de Pearson, respectivamente.

5.5.2.4 Nível crítico de fósforo

As doses de fósforo estimadas para atingir 90% da produção máxima da parte aérea e das raízes foram obtidas através das equações de regressão entre a produção de matéria seca e as doses de fósforo aplicadas ao solo.

As doses críticas de fósforo foram de 130 mg kg⁻¹ para a parte aérea e 144 mg kg⁻¹ para as raízes. Corrêa (1991) observou doses críticas de fósforo similares (140 mg kg⁻¹ de solo para o primeiro corte e 179 mg kg⁻¹ para o segundo corte). As doses críticas determinadas nesse experimento estão inseridas dentro da ampla faixa citada na literatura para gramíneas forrageiras, (Andrew & Robins, 1971; Fonseca et al., 1988; Guss et al., 1990).

Os níveis críticos internos determinados para as partes amostradas da planta foram: 1,47 g kg⁻¹ para as raízes, 2,76 g kg⁻¹ para as folhas não-expandidas, 1,63 g kg⁻¹ para as lâminas de folhas velhas, 2,22 g kg⁻¹ para as lâminas de folhas novas e 1,85 g kg⁻¹ para os colmos mais bainhas. Os níveis críticos internos são semelhantes aos descritos por Meirelles et al. (1988) e que localizaram-se na faixa de 1,6 a 1,8 g kg⁻¹ para um solo Podzólico e 2,2 a 2,7 g kg⁻¹ para um Latossolo. De modo geral, os níveis críticos citados em literatura apresentam variação entre 1,4 e 2,9 g kg⁻¹ (Falade, 1975; Costa et al., 1983; Corrêa, 1991; Dias Filho, 1995).

O nível crítico para atividade da fosfatase ácida foliar foi de 20,23 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF, similar ao encontrado para o capim-braquiária. Segundo McLachland (1982), a fosfatase ácida pode ser afetada por condições ambientais, pela idade fisiológica da planta, diferenças entre cultivares, pelo nível de fósforo disponível do solo, indicando que a atividade da fosfatase é uma medida muito sensível da nutrição fosfatada nas plantas, em um período determinado.

5.6 Conclusões

- A produção de matéria seca da parte aérea e das raízes de capim-braquiária e capim-colonião foi afetada pelas doses de fósforo no solo. A máxima produção da parte aérea foi obtida com dose de 209 mg kg⁻¹ para o capim-braquiária e 200 mg kg⁻¹ de solo para o capim-colonião.

- Com aumento da dose de fósforo ocorreu aumento no número de perfilhos, até a dose 80 mg kg^{-1} para o capim-braquiária e até 40 mg kg^{-1} para o capim-colonião.

- Independentemente da parte da planta amostrada ocorreu um incremento na concentração de fósforo com o aumento das doses de fósforo em solução, e as folhas não-expandidas apresentaram as concentrações de fósforo mais elevadas.

- A atividade de fosfatase ácida no capim-braquiária aumentou para doses de fósforo menores que 263 mg kg^{-1} de solo. Os valores situaram-se na faixa de 32 a $22 \text{ } \mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$.

- A atividade foliar da fosfatase ácida do capim-colonião decresceu com o aumento das doses de fósforo até a dose 204 mg kg^{-1} , variando entre 15 e $35 \text{ } \mu\text{mol p-NPP h}^{-1}$

- Os níveis críticos internos variaram de $1,17$ a $2,71 \text{ g kg}^{-1}$ para o capim-braquiária e de $1,47$ a $2,76 \text{ g kg}^{-1}$ para o capim-colonião.

- O nível crítico da atividade da fosfatase ácida correspondeu a $25,16$ e $20,23 \text{ } \mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ para o capim-braquiária e o capim-colonião, respectivamente.

6 CONCLUSÕES

- A produção de matéria seca da parte aérea e das raízes de capim-braquiária e capim-colonião aumentou com o incremento das doses de fósforo na solução nutritiva e no solo, em todos os experimentos realizados.

- O capim-braquiária, no primeiro experimento, não mostrou efeito das doses do nutriente na produção da planta e na atividade da fosfatase ácida até os 19 dias após o transplântio. Após essa época, a produção do capim-braquiária foi linearmente incrementada pelas doses de fósforo.

- Para o segundo experimento, o capim-colonião mostrou respostas expressivas em produção da planta e concentração de fósforo nas folhas às doses de fósforo, em cada uma das épocas de coleta.

- A atividade foliar da fosfatase ácida em todos os experimentos apresentou, de modo geral, decréscimo com o aumento das doses de fósforo, situando-se entre 15 e 37 $\mu\text{mol p-NPP h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$.

- Nos experimentos em solução nutritiva, ocorreu aumento do perfilhamento, nas duas espécies, somente a partir da dose 9,3 mg L^{-1} , não havendo diferença entre as doses mais elevadas de fósforo. No solo, o aumento ocorreu até a dose 80 mg kg^{-1} para o capim-braquiária e até 40 mg kg^{-1} para o capim-colonião.

- Independentemente da parte da planta amostrada ocorreu um incremento nas concentrações de fósforo com o aumento das doses de fósforo na solução nutritiva e no solo, e o colmo + bainha e raízes foram as partes amostradas da planta que apresentaram as menores concentrações.

- O nível crítico interno de fósforo esteve entre 1,96 e 3,91 g kg⁻¹ para o capim-braquiária e 1,35 e 2,28 g kg⁻¹ para o capim-colonião na solução nutritiva e entre 1,17 a 2,71 g kg⁻¹ para o capim-braquiária e de 1,47 a 2,76 g kg⁻¹ para o capim-colonião, no solo, variando conforme a porção da planta considerada.

- O nível crítico de 20 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF para a atividade da fosfatase ácida foi similar para o capim-colonião, tanto na solução nutritiva quanto no solo, enquanto para o capim-braquiária esse nível crítico esteve entre 20 e 25 μmol p-NPP h⁻¹ g⁻¹ MF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, J.C.R. de. Combinação de doses de fósforo e magnésio na produção e nutrição de duas braquiárias. Piracicaba: ESALQ, 81p., 1998. (Dissertação - Mestrado em Solos e nutrição de Plantas).
- ANDREW, C.S.; ROBINS, M.F. The effect of phosphorus on the growth, chemical composition, and critical phosphorus percentagens of some tropical pastures grasses. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v.22, n. 6, p.693-706, 1971.
- ARONOVICH, S. O capim colômbio e outros cultivares de *Panicum maximum* (Jacq.): introdução e evolução do uso no Brasil. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12, Piracicaba, 1995. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p, 1-20.
- ARONOVICH, S.; ROCHA, G.I. Gramíneas e leguminosas forrageiras de importância no Brasil Central Pecuário. **Informe Agropecuário**, v.11, p.132, 1985.
- BARRETT-LENNARD, E.G.; GREENWAY, H. Partial separation and characterization of soluble phosphatases from leaves of wheat grown under phosphorus deficiency and water deficit. **Journal of Experimental Botany**, v.33, n.135, p.694-704, 1982.

- BARRETT-LENNARD, E.G.; ROBSON, A.D.; GREENWAY, H. Effect of phosphorus deficiency and water deficit on phosphatase activities from wheat leaves. **Journal of Experimental Botany**, v.33, n.135, p.682-693, 1982.
- BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. **Soil Science**, Baltimore, v.112, n. 2, p.116-130, Aug.1971.
- BESFORD, R.T. Effect of phosphorus supply on acid phosphatase activity in the leaves of tomato plants. **Science Horticulturae**, v.9, n.4, p.303-309, 1978.
- BESFORD, R.T. Quantitative aspects of leaf acid phosphatase activity and phosphorus status of tomato plants. **Annals of Botany**, v.44, p.153-161, 1979a.
- BESFORD, R.T. Phosphorus nutrition and acid phosphatase activity in the leaves of seven plants species. **Journal of Science Food and Agriculture**, v.30, p.281-285, 1979b.
- BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphorus availability. **Annual Review of Plant Physiology**, v.24, p.225-252, 1973.
- BOGDAN, A.V. **Tropical pasture and fodder plants**. New York: Longman, 1977. 455p.

BOVI, M.L.A.; BASSO, L.C.; TUCCI, M.L.S. Avaliação da atividade "in vivo" da fosfatase ácida e do crescimento de progênies de pupunheira cultivadas em duas doses de nitrogênio e fósforo. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.22, n.3, p. 427-434, 1998.

BUTLER, G.W.; JONES, D.I.H. Mineral biochemistry of herbage IN: BUTLER, G.W.; BAILEY, R.W.(ed.) **Chemistry and biochemistry of herbage**. London: Academic press, 1973. v. 2, cap. 19, p.127-162.

CARRIEL, J.M.; WERNER, J.C.; ABRAMIDES, P.L.G.; MONTEIRO, F.A.; MEIRELLES, N.M.F. Limitações nutricionais de um solo podzólico vermelho-amarelo para o cultivo de três gramíneas forrageiras. **Boletim da Industria Animal**, v.46, n.1, p.61-73, 1989.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Nutricion mineral de plantas forrageiras . In: _____. **Programa de ganado de carne**. Cali, 1978. p.A61-A65 (Informe Anual, 1977).

CORRÊA, L. de A. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de *Brachiaria decumbens* Stapf., *Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf. cv. Marandu e *Panicum maximum* Jacq., em Latossolo Vermelho-Amarelo, álico. Piracicaba: ESALQ, 1991. 83p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

CORSI, M.; SANTOS, P.M. Potencial de produção do *Panicum maximum*. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 12, Piracicaba, 1995. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1995. p, 275-304.

- COSTA, G.G.; MONERAT, P.H.; GOMIDE, J.A. Efeito de doses de fósforo sobre o crescimento e teor de fósforo no capim-jaraguá e capim colônia. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.12, n.1, p. 1-10, 1983.
- De LEO, P.; SACHER, J.A. Control of ribonuclease and acid phosphatase by auxin and abscisic acid during senescence of Rhoeo leaf sections. **Plant Physiology**, v.46, p. 806-811, 1970.
- DIAS FILHO, M.B. Níveis críticos internos de fósforo de três acessos de *Panicum maximum*. **Pasturas Tropicales**, v.17, n.2, 1995.
- DOW, A.I.; ROBERTS, A.I. Proposal critical nutrient ranges for crop diagnosis. **Agronomy Journal**, v.74, n.2, p.401-403, 1982.
- DUFF, S.M.G.; SARATH, G.; PLAXTON, W.C. The role of acid phosphatases in plant phosphorus metabolism. **Physiology Plantarum**, v.90, n.4, p.791-800, 1994.
- ELLIOT, G.C.; LÄUCLHI, A. Evaluation of an acid phosphatase assay for detection of phosphorus deficiency in leaves of maize (*Zea mays* L.). **Journal of Plant Nutrition**, v.9, n.11, p.1469-1477, 1986.
- EPSTEIN, E. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Traduzido por E. Malavolta. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1975. 672p.
- FALADE, J.A. The effect of phosphorus on growth and mineral composition of five tropical grasses. **East African Agricultural and Forest Journal**, v.41, n. 4, p.342-350, Apr. 1975.

- FERNANDEZ, D.S.; ASCENCIO, J. Acid phosphatase activity in bean and cowpea plants growth under phosphorus stress. **Journal of Plant Nutrition**, v.17, n.2-3, p.229-241, 1994.
- FONSECA, D.M. da; ALVAREZ, V.H.; NEVES, J.C.L.; GOMIDE, J.A.; NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F. de. Níveis críticos de fósforo em amostras de solos para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, n.1, p. 49-58, 1988.
- FONSECA, D.M. da; GOMIDE, J.A.; ALVAREZ, V.H.; NEVES, J.C.L.; NOVAIS, R.F. de; BARROS, N.F. de. Absorção, utilização e níveis críticos de fósforo em *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.21, n.4, p. 730-743, 1992.
- FRANÇA, A.F.S.; HAAG, H.P. Nutrição mineral de gramíneas tropicais. I. Carências nutricionais de capim "Tobiatã" (*Panicum maximum* Jacq.). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.42, p.83-95, 1985.
- FURLANI, A.M.C.; CLARK, R.B.; MARANVILLE, J.W.; ROSS, W.M. Root phosphatase activity of sorghum genotypes grown with organic and inorganic sources of phosphorus. **Journal of Plant Nutrition**, v.7, n.11, p.1583-1595, 1984.

- GARCIA, M.; ASCENCIO, J. Root morphology and acid phosphatase activity in tomato plants during development of and recovery from phosphorus stress. **Journal of Plant Nutrition**, v.15, n.11, p.2491-2503, 1992.
- GARDNER, F.P.; PEARCE, R.B.; MITCHELL, R.L. **Physiology of crop plants**. Ames, Iowa: Iowa University press, 1985. 327p.
- GHISI, O.M.A.A., PEDREIRA, J.V.S. Características agronômicas das principais *Brachiaria* spp. In: ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, Nova Odessa, 1986. **Encontro**. Nova Odessa: SAA/Coordenadoria de Pesquisa Agropecuária/Instituto de Zootecnia, 1986. p.2-30.
- GILSON, I. Nível crítico de fósforo em hemátria (*Hematria altissima* (Poir.) Stapf & Hubbard). Piracicaba: ESALQ, 1997. 69p. (Dissertação - Mestrado em Ciência Animal e Pastagens).
- GOMIDE, J.A.; NOLLER, C.H.; MOTT, G.º; CONRAD, J.H.; HILL, D.L. Mineral composition of six tropical grasses s influenced by plant age and nitrogen fertilization. **Agronomy Journal**, v.61, n.1, p. 120-123, 1969.
- GUSS, A.; GOMIDE, J.A.; NOVAIS, R.B. de. Exigência de fósforo para o estabelecimento de quatro espécies de *Brachiaria* em solos com diferentes características físicas e químicas. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.19, n.4, p. 278-289, 1990.
- HAAG, H.P.; DECHEN, A.R. Deficiências minerais em plantas forrageiras. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 7, Piracicaba, 1985. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1985. p. 139-168.

- HAAG, H.P.; BOSE, M.L.V.; ANDRADE, R.G. Absorção dos macronutrientes pelos capins colônia, gordura, jaraguá, napier e pangola. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 24, p.177-188, 1967.
- HOFFMANN, C.R.; FAQUIN, V.; GUEDES, G.A.A.; EVANGELISTA, A.R. O nitrogênio e o fósforo no crescimento da braquiária e do colônia, em amostras de um latossolo da região noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n 1, p.79-86, jan./abr. 1995.
- JANK, L. Potencial do gênero *Panicum*. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS, Campinas, 1994. **Anais**. Campinas, 1994. p. 25-31.
- JANK, L.; COSTA, J.C.G. Avaliação, seleção e lançamento de novos cultivares de gramíneas da espécie *Panicum maximum*. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PRODUÇÃO DE SEMENTES DE PLANTAS FORRAGEIRAS, 4, 1990. **Anais**. 1990. p. 1-15.
- JONES, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook**: Practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Athens: Micro Macro, 1991. 213p.
- KELLER-GREIN, G; MAASS, B.L.; HANSON, J. Natural variation in *Brachiaria* and existing germoplasm collections. In: MILES, J.W.; MAASS, B.L.; VALLE, C.B. do. **Brachiaria: biology, agronomy and improvement**. Cali: EMBRAPA-CNPQ/CIAT, 1996. P.16-42.

- LEITE, G.G; EUCLIDES, V.P. Utilização de pastagens de *Brachiaria* spp. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. de; FARIA, V.P. de (ed). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11, Piracicaba, 1994. **Anais** . Piracicaba:FEALQ, 1994. p.267-298.
- LEE, R.B. Phosphate influx and extracellular phosphatases activity in barley roots and rose cells. **New Phytology**. V.109, p.141-148, 1988.
- MALAVOLTA, E.; HAAG, H.P.; MELLO, F.A.F.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C. **Nutrição mineral e adubação de plantas cultivadas**. São Paulo: Livraria Pioneira, 1974. 727p.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípio e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889p.
- MARTINEZ, H.E.P. Níveis críticos de fósforo em *Panicum maximum* (Stapf) Prain, *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickert, *Digitaria decumbens* Stent, *Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf, *Melinis minutiflora* Pal de Beauv, *Panicum maximum* Jacq. e *Penisetum purpureum* Schum. Piracicaba, 1980. 90p. Dissertação - Mestrado -ESALQ.
- McLACHLAN, K.D. Leaf acid phosphatase activity and the phosphorus status of field-grown wheat. **Australian Journal of Agricultural Research**., v.33, n.3, p.453-464, 1982.

- McLACHLAN, K.D. Effects of drought, aging and phosphorus status on leaf acid phosphatase activity in wheat. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.35, p.777-787, 1984.
- McLACHLAN, K.D.; DeMARCO, D.G. Acid phosphatase activity of intact roots and phosphorus nutrition in plants. III. Its relation to phosphorus garnering by wheat and a comparison with leaf activity as a measure of phosphorus status. **Australian Journal of Agricultural Research.**, v.33, n.1, p.1-11, 1982.
- McLACHLAN, K.D.; ELLIOTT, D.E.; De MARCO, D.G.; GARRAN, J.H. Leaf acid phosphatase isozymes in the diagnosis of phosphorus status in field-grown wheat. **Australian Journal of Agricultural Research.**, v.38, n.1, p.1-13, 1987.
- MEIRELES, N.M.F.; WERNER, J.C.; ABRAMIDES, P.L.G.; CARRIEL, J.M.; PAULINO, V.T.; COLOZZA, M.T. Níveis críticos de fósforo em capim colônia cultivado em dois tipos de solo: Latossolo Vermelho-Escuro e Podzólico Vermelho Amarelo. **Boletim de Indústria Animal**, v.45, n.1, p.215-232, 1988.
- MILES, J.W.; MAASS, B.L.; VALLE, C.B. do. **Brachiaria: biology, agronomy and improvement**. Cali: EMBRAPA-CNPG/CIAT, 1996. 288p.
- MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C. Efeitos das adubações nitrogenada e fosfatada em capim colônia, na formação e em pasto estabelecido. **Boletim de Indústria Animal**, v.34, n.1, p.91-101, 1977.

- MONTEIRO, F.A.; MATTOS, W.T. de; MARTIM, R.A. Produção de matéria seca e sua distribuição na parte aérea de braquiária decumbens sob níveis de fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24, Goiânia, 1993. **Resumos expandidos...** Goiânia: SBCS, p.249-250, 1993.
- MONTEIRO, F.A.; MATTOS, W.T. de; MARTIM, R.A. Partes das plantas e diagnose nutricional de braquiária decumbens. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995. **Resumos expandidos...** Viçosa: SBCS: UFV, p.556-557, 1995.
- NISHIMURA, M.; BEEVERS, H. Hydrolases in vacuoles from castor bean endosperm. **Plant Physiology**, v.63, p.44-48, 1978.
- NUNES, S.G.; BOOK, A.; PENTEADO, M.I. de O; GOMES, D.T. **Brachiaria brizantha cv. Marandu**. 2ª. ed. Campo Grande, EMBRAPA-CNPGC, 1984. 31p. (EMBRAPA-CNPGC, Documentos, 21).
- O'CONNELL; A.M.; GROVE, T.S. Acid phosphatase activity in Karri (*Eucalyptus diversicolor* F. Muell) in relation to soil phosphate and nitrogen supply. **Journal of Experimental Botany**, v.36, n.170, p.1359-1372, 1975.
- PARSONS, J.J. Spread of African pasture grasses on the American tropics. **Journal of Range Management**, v.25, n.1, p.12-17, 1972.
- PEDREIRA, J.V.S.; SILVEIRA, J.J.N. Variação da composição bromatológica do capim colônia *Panicum maximum* Jacq. **Boletim de Indústria Animal**, v.29, n.1, p.185-190, 1972.

- PEREIRA, J.P. Adubação de capins do gênero *Brachiaria*. In: ENCONTRO PARA DISCUSSÃO SOBRE CAPINS DO GÊNERO BRACHIARIA, Nova Odessa, 1986. **Encontro...** Nova Odessa: SAA/Coordenadoria de Pesquisa Agropecuária/Instituto de Zootecnia, 1986. p.31-91.
- PRESS, M.C.; LEE, J. Acid phosphatase activity in Sphagnum species in relation to phosphate nutrition. **New Phytology**, v.93, n.4, 567-573, 1983.
- RODRIGUES, L.R. de A.; REIS, R.A. Bases para o estabelecimento do manejo da capins do gênero Panicum. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11, Piracicaba, 1994. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 1994. p, 197-218.
- SARRUGE, J.R. Soluções nutritivas. **Summa Phytopatologica**, v.1, n.3, p.231-233, 1975.
- SAS INSTITUTE. **SAS user's guide**: realese. 6.03, Cary, 1988. 1028p.
- SILVA, J.E. da. Parâmetros produtivos e atividade de fosfatase ácida em três gramíneas forrageiras cultivadas com níveis de fósforo. ESALQ: Piracicaba, 1996. 83p. (Dissertação - Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SILVA, A.A. da. Toxicidade de alumínio em trinta genótipos de *Panicum maximum* Jacq, cultivados em solução nutritiva. ESALQ: Piracicaba, 1998. 146p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

- SILVA, F.C.; BASSO, J.C.; Avaliação da atividade "in vivo" da fosfatase ácida da folha na diagnose da nutrição fosfórica em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.17, n. 3, p.371-376, 1993.
- SKERMAN, P.J.; RIVEROS, F. **Gramíneas tropicales**. Colección FAO: Producción y protección vegetal no. 23, ONU. Roma, 1992. 849p.
- SMITH, F.W. Tissue testing for assessing the phosphorus status of green panic, buffel grass and setaria. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v.15, p.383-390, 1975.
- SOARES FILHO, C.V. Recomendações de espécies e variedades de Brachiaria para diferentes condições. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. de; FARIA, V.P. de (ed). SIMPOSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11, Piracicaba, 1994. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. P, 25-48.
- SZABO-NAGY, A.; GALIBA, G.; ERDEI, L. Induction of soluble phosphatases under ionic and non-ionic osmotic stresses in wheat. **Journal of Plant Physiology**, v.140, n.5, p.629-633, 1992.
- TADANO, T.; SAKAI, H. Secretion of acid phosphatase by the roots of several crop species under phosphorus-deficient conditions. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.37, n.1, p.129-140, 1991.
- ULRICH, A.O.; HILLS, F.J. Plant analysis as an aid in fertilizing sugar crops: part I. Sugar beets. Principles and practices of plant analysis. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (ed). **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1973. p. 271-288.

- VALLE, C. B. do; MILES, J.W. Melhoramento de gramíneas do gênero *Brachiaria*. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11, Piracicaba, 1994. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. P, 1-24.
- WERNER, J.C. Adubação de pastagens. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. 49p. (Boletim Técnico, 18).
- WERNER, J.C. Adubação de plantas de *Brachiaria* spp. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. de; FARIA, V.P. de (ed). SIMPOSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11, Piracicaba, 1994. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1994. p, 1-24.
- WERNER, J.C.; HAAG, H.P. Estudos sobre a nutrição mineral de alguns capins tropicais. **Boletim de Indústria Animal**, v.29, n.1, p.191-245, 1972.
- ZIMMER, A.H.; EUCLIDES, V.P.B.; MACEDO, M.C.M. Manejo de plantas forrageiras do gênero *Brachiaria*. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. de; FARIA, V.P. de (ed). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 9, Piracicaba, 1988. **Anais**. Piracicaba:FEALQ, 1988. p. 141-184.
- ZIMMER, A.H.; MACEDO, M.C.M; BARCELLOS , A. de O.; KICHEL, A.N. Estabelecimento e recuperação de pastagens de *Brachiaria*. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. de; FARIA, V.P. de (ed). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 11, Piracicaba, 1994. **Anais** . Piracicaba:FEALQ, 1994. p.153-208.