NÍVEL CRÍTICO DE FÓSFORO EM HEMÁRTRIA **(*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubbard)**

ITAMAR GISLON
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **HERBERT BARBOSA DE MATTOS**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Ciência Animal e Pastagens.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Dezembro - 1997

NÍVEL CRÍTICO DE FÓSFORO EM HEMÁRTRIA **(*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubbard)**

ITAMAR GISLON

Aprovada em: 20.02.1998

Comissão julgadora:

Dr. Luciano De Almeida Corrêa

Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira

Prof. Dr. Herbert Barbosa De Mattos

Embrapa/SÃO CARLOS-SP

ESALQ/USP

ESALQ/USP

Prof. Dr. HERBERT BARBOSA DE MATTOS
Orientador

A **Rita** minha avó "in memoriam", que sem ser professora me ensinou ler e escrever.

A **Ofélia** e **Nair**, meus pais, referências de trabalho, honestidade e dignidade, pelo incentivo.

À **Vilma Cira**, aos nossos filhos **Cira Tamara** e **Giórgio**, pela parcela de sacrifício no adiamento de planos pessoais, na privação de muitos momentos de convívio e lazer, pela compreensão nas fases mais difíceis, pelo auxílio, carinho e incentivo.

Especialmente aos **Mestres** que souberam compreender, valorizar, incentivar e orientar as tentativas de acerto, transmitiram conhecimentos e ensinamentos, contribuíram para o crescimento como pessoa e para a formação e aperfeiçoamento profissional.

A **Deus**, por ter me amparado nesta etapa.

D e d i c o.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos especiais são prestados às seguintes pessoas e instituições:

Ao Professor Dr. Herbert Barbosa de Mattos, por me orientar nesta etapa de formação profissional.

Aos Professores Dr. Francisco Antonio Monteiro, Dr. Quirino Augusto Camargo Carmello, Dr. Antônio Roque Dechen, Setor de Nutrição de Plantas do Departamento de Química e à Dra. Siu Mui Tsai do CENA - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, pela colaboração.

À Professora Maria Izalina Ferreira Alves e à Lia Bueno Moretti pelo auxílio e sugestões.

Aos funcionários do Instituto de Zootecnia em Nova Odessa, Maria Alice Crestani e Marco Antônio Pigatto, pela colaboração na condução do experimento.

Às bibliotecárias Eliana Maria Garcia Sabino e Kátia Maria de Andrade Ferraz e aos funcionários da Biblioteca Central pela colaboração na revisão bibliográfica.

Aos colegas e amigos, pelo convívio fraterno, solidariedade e incentivo.

Em especial aos colegas Elir de Oliveira, João Batista Rodrigues de Abreu, Maria Tereza Colozza, Remi Dambros, Samuel M. G. da Silva e Waldssimiler T. de Mattos pelo auxílio.

À Epagri - Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina, pela oportunidade de realizar este curso e pelo apoio institucional.

À Direção do Instituto de Zootecnia, Estação Experimental de Nova Odessa, por possibilitar a execução do experimento nas suas dependências.

À FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela liberação de recursos para a execução do experimento.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão parcial de bolsa de estudos.

Especialmente aos Professores e Funcionários do Departamento de Zootecnia, à Coordenação do Curso de Pós Graduação em Ciência Animal e Pastagens e à Direção da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", pela distinção.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
RESUMO.....	x
SUMMARY.....	xii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1 Hemátria.....	3
2.2 Fósforo no solo.....	4
2.3 Fósforo na planta.....	7
2.4 Amostragem e idade fisiológica.....	12
2.5 Nível crítico.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1 Local.....	25
3.2 Solo.....	25
3.3 Espécie forrageira.....	25
3.4 Preparo dos vasos e calagem.....	26
3.5 Plantio das mudas.....	26
3.6 Adubação.....	26
3.7 Tratos culturais.....	28
3.8 Colheita e preparo das amostras.....	28
3.9 Análise química do solo.....	29
3.10 Análise química do material vegetal.....	29
3.11 Análise estatística.....	30
3.12 Determinação do nível crítico de fósforo.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Solo.....	34

4.2 Fósforo (P).....	36
4.2.1 Teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF).....	36
4.2.2 Teor de fósforo na matéria seca das hastes (PCB).....	38
4.2.3 Fósforo acumulado na matéria seca da parte aérea (PAC).....	39
4.2.4 Teor de fósforo na matéria seca da parte aérea (PPA).....	41
4.2.5 Correlação entre produção de matéria seca e teor de fósforo.....	43
4.2.6 Nível crítico de fósforo.....	44
4.3 Variáveis de produção.....	46
4.3.1 Produção de matéria seca da parte aérea (MS).....	48
4.3.2 Produção de perfilhos (NP).....	50
4.3.3 Relação lâmina:haste (L/H).....	52
4.3.4 Produção de matéria seca das raízes (MSR).....	54
4.4 Sintomas de deficiência de fósforo em plantas de hemátria.....	55
5 CONCLUSÕES.....	57
ANEXOS.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	63

LISTA DE FIGURAS

1	Representação gráfica do teor de fósforo encontrado na matéria seca das lâminas foliares (PLF) e dos colmos e bainhas (PCB), das plantas de hemártria no primeiro e no segundo cortes, em relação às doses de fósforo dos tratamentos.....	37
2	Representação gráfica da quantidade de fósforo acumulado na matéria seca da parte aérea (PAC) e do teor de fósforo na matéria seca da parte aérea (PPA) das plantas de hemártria observados no primeiro e no segundo cortes, em relação às doses de fósforo dos tratamentos.....	40
3	Aspecto da parte aérea, conforme as doses crescentes de fósforo.....	47
4	Aspecto das raízes, conforme as doses crescentes de fósforo.....	47
5	Representação gráfica da produção de matéria seca (MS) e do número de perfilhos (NP) das plantas de hemártria observados no primeiro e no segundo cortes, em relação às doses de fósforo dos tratamentos.....	49
6	Representação gráfica da relação matéria seca lâmina/haste (L/H) no primeiro e segundo cortes e da produção de matéria seca das raízes (MSR) das plantas de hemártria, em relação às doses de fósforo dos tratamentos.....	53
7	Aspecto das plantas com deficiência de fósforo, na dose zero.....	55

LISTA DE TABELAS

1	Doses de nutrientes aplicados no plantio da hemártria e fontes de nutrientes utilizadas.....	27
2	Doses e fontes de fósforo utilizadas para compor os tratamentos.....	28
3	Esquema utilizado para aplicação do teste F na análise da variância segundo o modelo matemático utilizado.....	31
4	Esquema utilizado para aplicação do teste F na análise de variância para blocos incompletos segundo o modelo matemático utilizado.....	31
5	Esquema utilizado para a análise de regressão e aplicação do teste F.....	32
6	Análise química das amostras do solo utilizado no experimento, no plantio em 22/09/95 média de 5 amostras e por ocasião do segundo corte em 21/12/95 média de 2 amostras compostas.	35
7	Coeficiente de correlação (r) e respectivo nível de significância pelo teste t , para a variável matéria seca da parte aérea das plantas de hemártria (MS) com as variáveis: teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF), teor de fósforo na matéria seca das hastes (colmos + bainhas) (PCB) e teor de fósforo na matéria seca da parte aérea das plantas de hemártria (PPA), no primeiro e segundo cortes.....	43
8	Valores estimados para as variáveis produção de matéria seca (MS), teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF), teor de fósforo na matéria seca de colmos e bainhas (PCB), teor de fósforo na matéria seca da parte aérea das plantas (PPA), fósforo acumulado na matéria seca da parte aérea (PAC), número de perfilhos por parcela (NP), relação da matéria seca das lâminas foliares com a matéria seca das hastes (L/H) e produção de matéria seca das raízes (MSR) das plantas de hemártria, conforme o corte e a dose de fósforo estimada a partir das respectivas equações de regressão para o nível crítico a 90% de produção máxima de matéria seca.....	45
9	Coeficiente de correlação (r) e respectivo nível de significância pelo teste t ,	

para a variável número de perfilhos por parcela das plantas de hemártria (NP), com as variáveis teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF), teor de fósforo na matéria seca das hastes (colmos + bainhas) (PCB) e teor de fósforo na matéria seca da parte aérea (PPA) das plantas de hemártria, no primeiro e segundo cortes.....

51

NÍVEL CRÍTICO DE FÓSFORO EM HEMÁRTRIA

(*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubbard)

Autor: Itamar Gislón

Orientador: Dr. Herbert Barbosa de Mattos

RESUMO

Em experimento conduzido em casa de vegetação, em Nova Odessa - São Paulo, Brasil, localizada a 22° 42' latitude sul, 47° 28' longitude Oeste, 500m de altitude, avaliou-se *Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubb. cultivar PI-364863 (EMPASC-302), em um Latossolo Vermelho Escuro, sob seis doses de fósforo: 0; 43,65; 87,30; 147,60; 261,90 e 349,20 kg P ha⁻¹.

A correção de acidez do solo foi feita utilizando-se CaO e MgO em quantidades para elevar a saturação por bases para 50%, em incubação por 49 dias. Fez-se uma adubação básica com N, K, S, B, Cu e Zn.

A unidade experimental foi um vaso contendo 3,9 kg de solo com 5 mudas de hemátria, plantadas em 29 de setembro de 1995. Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com seis doses e cinco repetições, perfazendo 30 vasos, distribuídos aleatoriamente em duas bancadas de madeira.

No primeiro corte, realizado em 24 de novembro de 1995, as plantas foram separadas em lâminas foliares (LF) e hastes (colmos + bainhas das folhas) (CB). No segundo corte, em 22 de dezembro de 1995, as raízes também foram colhidas. As amostras foram colocadas em estufa para secar por 48 horas a 65 °C, pesadas, moídas e enviadas ao laboratório para análises químicas. As variáveis produção de matéria seca, perfilhamento e composição mineral foram submetidas a análise da variância com teste F, decomposta por regressão polinomial até segundo grau, quando significativa.

As doses de fósforo provocaram respostas com efeito significativo ao nível de 1% de significância ($P < 0,01$) para as variáveis teores de fósforo na matéria seca das

lâminas foliares (PLF) cortes 1 e 2 e dos colmos e bainhas foliares (PCB) cortes 1 e 2, no teor de fósforo na matéria seca da parte aérea (PPA) cortes 1 e 2, no fósforo acumulado na matéria seca da parte aérea (PAC) cortes 1 e 2, na produção de matéria seca da parte aérea (MS) cortes 1 e 2, na matéria seca das lâminas em relação à das hastes (L/H) corte 1, no número de perfilhos (NP) cortes 1 e 2 e na produção de matéria seca das raízes (MSR).

Foi observada correlação positiva e significativa ($P<0,01$) do teor de fósforo nas lâminas foliares (PLF) e positiva e significativa ($P<0,05$) do teor de fósforo da matéria seca da parte aérea (PPA) com o número de perfilhos (NP) nos dois cortes.

Os níveis críticos de fósforo de 2,18 e 2,00 g kg⁻¹ na matéria seca das lâminas foliares (PLF), de 1,58 e 1,05 g kg⁻¹ na matéria seca dos colmos e bainhas (PCB) e de 1,94 e 1,30 g kg⁻¹ na matéria seca da parte aérea (PPA), foram obtidos com 90% da produção máxima para o primeiro e segundo cortes, respectivamente. Estes valores coincidiram com a dose de 210,93 e de 176,79 kg P ha⁻¹, que foram 33,16% e 34,28% menores que as doses de fósforo necessárias para o crescimento máximo, de 315,60 e 269,00 kg P ha⁻¹ para o primeiro e segundo cortes respectivamente, para apenas 10% de redução na produção de matéria seca.

Foi observada correlação positiva e significativa ($P<0,01$) pelo teste *t*, entre o teor de fósforo nas lâminas foliares (PLF) e a produção de matéria seca da parte aérea (MS) no primeiro corte, de forma que o teor de fósforo determinado na matéria seca das lâminas foliares deve ser utilizado para diagnóstico nutricional de fósforo na fase de estabelecimento da hemártria.

CRITICAL LEVEL OF PHOSPHORUS IN LIMPOGRASS
(*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubbard)

Author: Itamar Gislón

Adviser: Dr. Herbert Barbosa de Mattos

SUMMARY

A greenhouse trial with Dark Red Latosol (Oxisol) samples in pots, using the cultivar PI-364863 (EMPASC-302) of limpograss (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubb.), under six levels of phosphorus (0, 43.65, 87.30, 147.60, 261.90 e 349.20 kg P ha⁻¹) was performed in Nova Odessa - São Paulo State, Brazil, located at 22° 42' South latitude, 47° 28' West longitude, 500m altitude.

Soil acidity correction was made using CaO and MgO in amounts enough to raise the basic cation saturation ratio to V=50%, under 49 days incubation conditions. Fertilization was made with N, P, K, S, B, Cu and Zn.

The experimental unit was a pot containing 3.9 kg of soil and five limpograss cuttings, which were planted on September 29, 1995. A randomized block design was used with six levels and five replications, totalizing 30 vases, randomly distributed onto two wood benches.

The first cut was performed on November 24, 1995, then separated into leaf blades (LF) and stems as culms + leaf sheaths, (CB). After the second cutting, which happened on December 22, 1995, besides the aerial part, the roots were also collected. The samples were dried 48 hours at 65 °C, mowed, weighed, and chemically analyzed. Variables of dry matter production, tillering, and mineral composition of dry matter were submitted to variance analysis with F test, decomposed by polynomial regression until second degree, when significant (P<0,05).

The phosphorus levels induced answers with a significant effect of 1% of

significance ($P<0,01$) for the phosphorus nutrient content variables, in the leaf blade dry matter (PLF) cuts 1 and 2, and in the culms and leaf sheaths (PCB) cuts 1 and 2, in the phosphorus content in the top dry matter variable (PPA) cuts 1 and 2, in the P accumulated in the top dry matter variable (PAC) cuts 1 and 2, in the top dry matter production variable (MS) cuts 1 and 2, in the leaf:stem dry matter variable (L/H) cut 1, in the tillering variable (NP) cuts 1 and 2, in the dry matter of root production variable (MSR).

A significant and positive correlation ($P<0,01$) between the phosphorus concentration in the leaf blades dry matter (PLF) and a positive and significant correlation ($P<0,05$) between the phosphorus concentration in the plant top dry matter (PPA) with the number of tillers (NP), in both cuts was observed.

The critical level of phosphorus, of 2.18 and 2.00 g kg⁻¹ in the dry matter from the leaf blades (PLF), of 1.58 and 1.05 g kg⁻¹ in the dry matter from stems (culms+sheaths) (PCB), and of 1.94 and 1.30 g kg⁻¹ in the top dry matter (PPA) obtained for 90% of relative production in the first and second cuts was coincident with the 210.93 kg P ha⁻¹ and 176.79 kg P ha⁻¹ doses, thus causing a reduction of 33.16% related to the phosphorus doses necessary for the maximum growth, 315.60 and 269.00 kg P ha⁻¹ for the first and second cuts respectively, for a decrease of only 10% in the dry matter production.

According to the t test, positive and significant correlation ($P<0,01$) between the level of phosphorus in the leaf blades dry matter (PLF) and the top dry matter production (MS) in the first cut was observed, so the phosphorus concentration in the leaf blades dry matter must be used for phosphorus nutritional diagnoses in the establishment phase in limpgrass.

1 INTRODUÇÃO

A produção forrageira no Brasil ocupa cerca de 1/4 das terras agricultáveis e em tempo de globalização ainda explora basicamente a fertilidade natural do solo, mesmo com baixos índices de produtividade, no que pese a necessidade de oferecer ao mercado produtos animais de qualidade superior a custos menores. Uma das formas de reduzir custos é obter maior eficiência na produção buscando maior produtividade, melhor distribuição anual e qualidade de forragem uma vez que plantas forrageiras das famílias das gramíneas e leguminosas são o alimento principal e em pastagens também o de menor custo para a produção de ruminantes.

A expressão do potencial genético da planta forrageira pressupõe não haver limitações pelos fatores de crescimento como luminosidade, temperatura e fotoperíodo, disponibilidade hídrica, reação, fertilidade e aeração do solo, simbiose com microorganismos fixadores de nitrogênio e solubilizadores de fósforo. Além do que, altura, duração e intervalos entre cortes ou pastejos, fatores ligados ao manejo, interferem no nível de desfolhação e recuperação da biomassa e das reservas de energia das plantas. No complexo ecossistema das pastagens o solo é o componente físico que pode mais facilmente ser modificado e adaptado para dar suporte a espécies de interesse econômico, quando as espécies forrageiras necessárias não são adaptadas ao mesmo.

Nas regiões tropicais e subtropicais, de solos tipicamente ácidos, o fósforo é considerado o elemento que com maior frequência limita o estabelecimento, a produção e qualidade das plantas forrageiras. O baixo nível de fósforo na maioria dos solos brasileiros provoca deficiência nas forrageiras com reflexos negativos na produtividade das pastagens e nos índices zootécnicos dos rebanhos. A disponibilidade de fósforo é considerada de vital importância no estabelecimento da pastagem. A disponibilidade de

fósforo, consideradas supridas as demais condições de crescimento, estimula a produção de matéria seca, melhora a qualidade, a produção e viabilidade das sementes, bem como a persistência das pastagens e o ganho animal em pastejo. O potencial de resposta das gramíneas tropicais ao nitrogênio e ao potássio, fica limitado na ausência de fósforo. O suprimento de fósforo é considerado o segundo mais importante para as gramíneas, após o de nitrogênio.

O diagnóstico de problemas nutricionais através da observação de sintomas visuais de deficiências minerais tem pouca utilidade, uma vez que quando são notados já houve prejuízo na produção. Antes disso, é possível diagnosticar o estado nutricional através da comparação do teor do nutriente nos tecidos da planta com um padrão. É possível prever a produção de uma forrageira, em dadas condições, quando o teor do nutriente nos tecidos de partes específicas da planta tem correlação com a produção de matéria seca.

O teor de fósforo na matéria seca relacionado a 90% da produção máxima, ou nível crítico de fósforo, pode ser utilizado para definir a dose do nutriente durante o estabelecimento e diagnosticar o estado nutricional em pastagens perenes estabelecidas, monitorando o teor do nutriente por amostragens de partes da planta, com a finalidade de obter, através do controle da nutrição, maior produção com melhor qualidade da matéria seca e melhor aproveitamento dos insumos aplicados.

Dentro desta visão, com a hipótese de que doses crescentes de fósforo influenciariam as variáveis resposta, este trabalho teve como objetivos determinar o número de perfilhos; a relação folha:haste; a produção de matéria seca; a dose de fósforo o teor de fósforo e o nível crítico de fósforo nos tecidos de folhas e hastes de plantas de *Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubb., plantadas em vasos com solo em casa de vegetação, quando submetidas a seis doses de fósforo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Hemátria

A hemátria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubb.) é uma gramínea forrageira subtropical perene originária da região do Transvaal no sudeste do continente africano. É uma planta de fisiologia C₄, que apresenta rizomas curtos e ramificados, estolões de trinta centímetros a um metro de comprimento, comprimidos e geralmente decumbentes com raízes que nascem dos nós inferiores, folhas de bordos lisos, com limbos de até 6 milímetros de largura, geralmente pregueadas. A inflorescência é um rácimo no extremo dos talos. A temperatura ótima para crescimento é de 31 a 35 °C, não tolerando superiores a 38 °C. A propagação é feita por via vegetativa, sendo pequena a produção de sementes nas nossas condições climáticas. Tem por habitat as várzeas, adapta-se a áreas alagadiças. Prefere solos úmidos, tolera inundação e solos ácidos, porém responde bem à fertilização. Vegeta em altitudes de até 2.000 metros. Requer precipitações altas e pode tolerar secas curtas. É suscetível a cortes muito baixos e à queima (Skerman & Riveros, 1992). Mostrou ser promissora nas regiões de planalto em Santa Catarina e no Paraná onde durante o inverno, proporcionou ao gado bovino algum ganho de peso quando, normalmente, haveria perda (Postiglioni, 1990), porque como descreveram Schank et al. (1973), é palatável e pastejada mesmo no outono quando o valor nutritivo da maioria das forrageiras diminui e o gado bovino a pasteja mesmo com as pontas secas.

2.2 Fósforo no solo

O fósforo é um recurso mineral natural não renovável, por haver reservas limitadas, está presente nas rochas, nos solos, nas águas, nas plantas e animais, formando compostos complexos com grande variedade de elementos.

O fósforo da biosfera provém de depósitos minerais do grupo das apatitas e fosforitas e em pequena percentagem, de fosfatos de alumínio que derivam das apatitas por processo de intemperismo (Cathcart, 1980). O fósforo disponível na solução do solo ocorre quase que exclusivamente na forma de ortofosfato. O conteúdo total de fósforo está na faixa de 0,02 a 1,5 %, (Mengel & Kirkby, 1987), mais comumente 0,04 % (Larsen, 1967), 20 a 80% do qual está na forma orgânica, em solos minerais. A concentração de fósforo na solução do solo, em solos férteis, está na faixa de 0,3 a 3 mg dm⁻³, (Mengel & Kirkby, 1987).

O fósforo lábil pode ser fixado por óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, alumino-silicatos, carbonatos e pelo húmus do solo através de reações com Fe³⁺, Al³⁺ e Ca²⁺, dependendo principalmente do pH da solução do solo, (Sample et al., 1980). Na faixa de pH entre 3 e 8, predominam na solução do solo as formas iônicas H₂PO₄⁻ e HPO₄²⁻, (Larsen, 1967; Olsen & Khasawneh, 1980).

Apenas 10 a 30% da quantidade de fósforo aplicada como fertilizante é recuperada pelas culturas. Os 70 a 90% restantes são absorvidos pelos microorganismos, precipitados pelos cátions na solução do solo ou adsorvidos pela matriz de argila. A eficiência relativa de uma certa aplicação de fósforo depende sobretudo da reação do solo, taxa, método e tempo de aplicação, necessidades nutricionais específicas da cultura e certas diferenças pedológicas. Os fatores mais importantes que controlam a solubilidade e disponibilidade de fósforo nos solos são pH da solução do solo que controla o conteúdo de cátions Al³⁺, Fe³⁺ e Ca²⁺, conteúdo e qualidade das argilas e da matéria orgânica, (Fageria, 1992).

O fósforo movimenta-se muito pouco no solo. O mecanismo de contato ion-raiz, para o fósforo é a difusão. Os fatores que afetam a disponibilidade de fósforo

são a taxa de difusão e o poder tampão do solo. A difusão é mais baixa em solos arenosos que em solos argilosos (Kamprath & Watson, 1980), devido à menor porosidade.

O suprimento adequado dos nutrientes nitrogênio e potássio bem como a redução da acidez pela calagem são essenciais ao bom aproveitamento do fósforo pela planta. A eficiência do aproveitamento do fósforo pelas plantas pode ser aumentada pela adaptação das seguintes práticas culturais (Fageria, 1992): 1) Aplicação do fósforo em faixas ou em linhas, em solos ácidos ou alcalinos; 2) Uso de cultivares eficientes quanto ao fósforo; 3) Aplicação de todos os demais nutrientes em quantidades suficientes; 4) Controle de pragas, insetos e plantas invasoras; 5) Adequado suprimento de água; 6) Controle de erosão; 7) Calagem em solos ácidos; 8) Aplicação de gesso ou enxofre em solos alcalinos e 9) Utilização de fosfato de rocha em solos ácidos, espalhado e misturado à camada superficial do solo. Assinala que em mais de 80% das plantas superiores o sistema radicular e o modo de absorção de fósforo são modificados pela simbiose com fungos micorrízicos, explorando um volume maior de solo, o que ajuda na absorção de maior quantidade de nutrientes, especialmente fósforo, mas também de S, K, Ca e Zn.

Lunt et al. (1965) empregaram três doses de fósforo combinadas com seis tipos de solo observando que o capim bermuda (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) respondeu bem à adubação fosfatada quando o fósforo disponível foi igual ou superior a 5 mg dm^{-3} , mas não tão claramente quando o fósforo disponível foi igual ou maior que $8,2 \text{ mg dm}^{-3}$, o teor de fósforo de $3,5 \text{ g kg}^{-1}$ na matéria seca estava relacionado ao crescimento máximo.

Keay et al. (1970) evidenciaram a capacidade das gramíneas de absorver mais fósforo, em condições similares, do que as leguminosas. Esta capacidade é devida ao sistema radicular da gramínea explorar melhor o solo em consequência da maior ramificação e por suportar melhor condições de solo mais ácido e de desenvolver associações com micorrizas.

Blunt & Humphreys (1970) verificaram o efeito de doses de fósforo no estabelecimento de várias leguminosas consorciadas com setária (*Setaria sphacelata* (Scum.) Moss) cv. 'Kazungula' em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, pH = 5,3,

onde o teor de fósforo, P (H_2SO_4 0,01N) = 9 mg dm^{-3} , foi o principal fator limitante ao crescimento de pastagens em experimentos anteriores. A setária só respondeu significativamente em produção de matéria seca e aumento na concentração de fósforo na matéria seca até $11,2 \text{ kg ha}^{-1}$. O florescimento da setária foi antecipado e positivamente correlacionado com as doses de fósforo aplicadas.

Em ensaio de casa de vegetação, Werner & Mattos (1972) estudaram o efeito da omissão de fósforo e demais nutrientes isoladamente comparada com tratamento completo mais calagem e micronutrientes, em Latossolo Vermelho Escuro orto com pH = 5,3 e P = 10 mg dm^{-3} . Concluíram que as maiores limitações para o desenvolvimento do capim gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) foram as omissões de fósforo e nitrogênio. Na testemunha o teor de fósforo na matéria seca foi 1,4 e no tratamento completo $3,6 \text{ g kg}^{-1}$.

Saraiva e Carvalho (1991) estudaram as adubações nitrogenada e fosfatada para o estabelecimento do capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. 'Mineiro', através de curvas de calibração, relacionando a produção com os índices de disponibilidade de nutrientes no solo e determinaram a função de matéria seca para as doses de fósforo em um Latossolo Vermelho-Amarelo álico com pH (H_2O) = 4,2 e P (Mehlich-1) = 2 mg dm^{-3} . Empregaram quatro doses de fósforo de 0 a $87,4 \text{ kg ha}^{-1}$ e 0 a 120 kg de nitrogênio por hectare, estando supridos os demais nutrientes. O efeito das doses de fósforo foi significativo tanto para produção de matéria seca quanto para os teores de fósforo disponível no solo. O nível crítico de fósforo no solo, associado a 90% da produção máxima, foi de 7 mg dm^{-3} . A produção máxima foi associada a uma dose de fósforo de $49,38 \text{ kg ha}^{-1}$.

De acordo com Raij et al. (1996) 12 mg dm^{-3} é o teor de fósforo disponível no solo, determinado pelo método da resina, para atingir a produção relativa de 90%, com culturas perenes.

2.3 Fósforo na planta

O fósforo é absorvido pelas raízes das plantas principalmente na forma de H_2PO_4^- . É armazenado nos tecidos vacuolados da planta como fósforo inorgânico. Participa do metabolismo energético das células principalmente como glicose-6-fosfato e fosfogliceraldeído (Marschner, 1995). Compostos contendo fósforo, como difosfato de adenosina, ADP e trifosfato de adenosina, ATP, armazenam em suas ligações químicas a energia captada pela planta na fotossíntese (Tisdale et al., 1985) para posterior utilização nos processos metabólicos.

O fósforo está incluído no processo fotossintético, na respiração, no armazenamento e transporte de energia, tem ação na síntese de proteínas e no metabolismo de algumas enzimas, na divisão celular, no crescimento das células, favorece a formação e crescimento prematuro das raízes, o perfilhamento, a frutificação e a formação das sementes, sendo estas o grande dreno de fósforo na planta. O fósforo ainda melhora o desenvolvimento das plantas, aumenta a resistência ao frio, melhora a eficiência no uso da água, favorece a resistência às doenças, aumenta a produção e melhora a qualidade das plantas, (Werner, 1986; Lopes, 1989).

Em condições de deficiência de fósforo as plantas 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 supridas de fósforo, pois a divisão celular é retardada em relação à formação de clorofila. O teor de clorofila torna-se alto, porém a eficiência fotossintética é muito baixa. O metabolismo dos carboidratos nas folhas é diminuído, com conseqüências negativas para a atividade das raízes, que tem a condutividade hidráulica reduzida, captam menos água e a expansão e divisão celular são afetadas pela falta de turgor. Como a dose de suprimento de fósforo interfere no metabolismo e na translocação dos carboidratos, presume-se que em parte seja responsável pelo suprimento deficiente de carboidratos para as raízes noduladas, de forma a prejudicar a fixação de nitrogênio, (Marschner, 1995).

O fósforo, ocorre nas plantas numa concentração de 0,3 a 6,8 (Butler & Jones, 1973), 3 (Läuchli & Bielecki, 1983), entre 1 a 4 (Tisdale et al., 1985), 1,5 a 10 (Jones et al., 1991) e 1 a 5 g kg⁻¹ (Bergmann, 1992) na matéria seca durante o estágio vegetativo, uma faixa consideravelmente baixa se comparada às do nitrogênio e do potássio. A faixa de 2 a 5 (Butler & Jones, 1973), 2 a 4 (Jones et al., 1991) e 3 a 5 g kg⁻¹ (Marschner, 1995) propicia o crescimento ótimo da maioria das plantas. O fósforo é um elemento móvel na planta (Robson & Snowball, 1988) com alta mobilidade e redistribuição pelo floema (Marschner, 1995). Tem a função de propiciar bom crescimento de plântulas e estabelecimento da pastagem, crescimento saudável às plantas e apressar a maturação. Plantas de clima temperado em solo com baixo teor de fósforo tem seu teor significativamente aumentado pela adubação fosfatada, (Wedin, 1974). Para forragens o teor de fósforo nos tecidos é de 3,3 g kg⁻¹, (Reuter et al., 1988), para cereais e forragens 3 a 4 g kg⁻¹ (Butler & Jones, 1973) ocorrendo deficiências quando menor que 1 g kg⁻¹ (Mengel & Kirkby, 1987) e menor que 2 g kg⁻¹ (Jones et al., 1991).

Norton (1984) estabeleceu comparações entre gramíneas e leguminosas forrageiras com relação à composição mineral: 3,3 g kg⁻¹ e 3,6 g kg⁻¹ de fósforo para gramíneas e leguminosas de climas temperados obtida com 400 e 320 amostras respectivamente; 2,2 g kg⁻¹ e 2,6 g kg⁻¹ de fósforo para gramíneas e leguminosas de climas tropicais de 586 e 165 amostras, respectivamente. As gramíneas e leguminosas tropicais possuem conteúdo de fósforo inferior ao das espécies temperadas, apesar da faixa de teor em que o fósforo é encontrado nas plantas ser similar. Entretanto, a diferença entre leguminosas e gramíneas crescendo sob climas similares é baixa.

O teor de fósforo nas células radiculares ou na seiva do xilema é cerca de cem a mil vezes mais alto que na solução do solo. A absorção é ativa, contra um gradiente de concentração. A capacidade de absorção ativa de fósforo difere entre espécies de plantas e também entre cultivares da mesma espécie. As plantas com maior eficiência na absorção de fósforo são também mais suscetíveis a deficiências de Fe e de Cu (Mengel & Kirkby, 1987).

Plucknett & Fox (1965) em experimento de campo sobre solo com pH =

7,0, utilizaram seis doses de fósforo de 0 a 588 kg ha⁻¹, além da aplicação de N, K, B, Mo, Mg e calagem. O teor de fósforo aumentou conforme as doses de fósforo aplicadas no solo. Para a dose zero o capim pangola (*Digitaria decumbens* Stent) continha 0,5 g kg⁻¹.

Werner & Haag (1972) obtiveram sintomas de deficiência, em casa de vegetação com solução nutritiva e empregando tratamento de omissão de fósforo, para capim jaraguá (*Hypharrhenia rufa* (Nees.) Stapf.), capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.), capim napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) e capim gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.). Os sintomas de deficiência de fósforo caracterizaram-se por coloração verde mais pálido tendendo para coloração verde-amarelada, sem arroxamento no capim colônia, avermelhada ou arroxada no capim jaraguá e com arroxamento no capim napier e no capim gordura. Em geral, as plantas apresentaram-se menores com colmos tortuosos e quebradiços, reduzido número de perfilhos e de folhas vivas por perfilho, estas com aspecto áspero e grosseiro. Número de folhas secas mais elevado que no tratamento completo. Secamento nas pontas das folhas mais velhas, que se prolongava em direção à base. Poucas raízes, muito compridas, finas e com poucos pelos absorventes.

Houve resposta de produção de matéria seca para o gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) até a dose de fósforo de 5 mg L⁻¹, para o jaraguá (*Hypharrhenia rufa* (Nees.) Stapf.) até 20 mg L⁻¹, para o colônia (*Panicum maximum* Jacq.) até 40 mg L⁻¹ e para o napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) até 120 mg L⁻¹ de fósforo na solução nutritiva. O teor de fósforo na matéria seca foi sempre crescente com o aumento da dose de fósforo, mesmo quando não houve mais resposta na produção de matéria seca. O teor de fósforo variou, enquanto a produção de matéria seca foi crescente, de 0,7 g kg⁻¹ a 2,8 g kg⁻¹ no capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.), de 0,7 g kg⁻¹ a 1,3 g kg⁻¹ no capim gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.), de 1,6 g kg⁻¹ a 5,8 g kg⁻¹ no capim jaraguá (*Hypharrhenia rufa* (Nees.) Stapf.) e de 0,9 g kg⁻¹ a 6,8 g kg⁻¹ no capim napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) (Werner & Haag, 1972).

A composição mineral da hemátria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf.

& Hubb.) no campo, determinada por Arroyo-Aguilú & Coward-Lord (1974), dos 30 aos 180 dias apresentou teor médio de P $1,3 \text{ g kg}^{-1}$, K $18,5 \text{ g kg}^{-1}$, Ca $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ e Mg $2,0 \text{ g kg}^{-1}$. Aos 180 dias o teor de fósforo foi de $0,8 \text{ g kg}^{-1}$. Comparativamente os teores foram para "swazigrass" (*Digitaria swazilandensis* Stent) 1,9; "digitária gigante" (*Digitaria valida* Stent) 1,4; pangola (*Digitaria decumbens* Stent) 1,9; braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* Stapf) 1,8; capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) 1,3; capim jarguá (*Hyparrhenia rufa* (Nees.) Stapf.) 1,7; hemártria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubb.) 1,3; capim congo (*Brachiaria ruziziensis* Germain & Evrard) 2,0 e capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.) $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ em média. A hemártria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubb.) foi a espécie que apresentou o teor mais baixo de fósforo. Peña et al. (1982) encontraram $2,5 \text{ g kg}^{-1}$ de concentração de fósforo na matéria seca da hemártria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubb.) em solo argilo-arenoso e também em solo argiloso aos 42 dias.

Em vasos com solo pH (CaCl_2) = 6,4 e P (Bray) = 12 mg dm^{-3} , aplicando fertilização básica com N, K, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn, Falade (1975) cortou o primeiro crescimento de capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.), andropógon (*Andropogon gayanus* Kunth), capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) ("green"), capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) ("purple") e estrela africana (*Cynodon plectostachyus* Pilger.) de tratamentos com seis doses de fósforo (0 a 180 mg vaso^{-1} com 2 kg de solo) e determinou $1,9$; $1,9$; $1,9$; $2,5$ e $3,1 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente para as espécies citadas, como teores de fósforo para crescimento máximo. Na rebrota os valores obtidos foram mais baixos: $1,8$ para colônia, $2,4 \text{ g kg}^{-1}$ para capim elefante ("green") e $2,9 \text{ g kg}^{-1}$ para estrela africana. No crescimento inicial a maior produção foi obtida com a dose de 30 mg vaso^{-1} para capim colônia, 60 para andropógon, 15 para capim elefante ("green"), 120 para capim elefante ("purple") e 30 mg vaso^{-1} para estrela africana.

Monteiro & Werner (1977) registraram efeito significativo ($P < 0,01$) para aplicação de fósforo e fósforo + nitrogênio no capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.) em casa de vegetação com solo, comparando com testemunha e aplicação de nitrogênio,

numa única avaliação aos 47 dias e primeiro corte. Quando aplicaram os mesmos tratamentos em capim colômbio estabelecido a campo só obtiveram efeito significativo para aplicação de nitrogênio.

Plantas eficientes na absorção de fósforo são aquelas que conseguem retirá-lo do meio, mesmo quando se apresentar em baixas concentrações, utilizando-o para alta produção de matéria seca. São consideradas plantas eficientes na utilização do fósforo aquelas que necessitam quantidades pequenas do elemento por unidade de matéria seca produzida, requisitos observados por Martinez & Haag (1980) na braquiária humidícola (*Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick).

França & Haag (1985) compararam o perfilhamento do capim colômbio (*Panicum maximum* Jacq.) cv. 'Tobiatã' no tratamento completo e na omissão de fósforo em solução nutritiva, tendo sido de 27 e 1,3 o número médio de perfilhos. No tratamento completo observaram teor de fósforo de 2,1 g kg⁻¹ nas folhas novas, 1,5 g kg⁻¹ nas folhas velhas e 1,0 g kg⁻¹ nas folhas secas.

Oliveira (1987) determinou o teor de P e Ca aos 30, 60, 90 e 120 dias de crescimento para a hemátria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubb.) cv. 'Bigalta'. O teor de Ca 4,7; 5,1; 6,0 e 6,6 g kg⁻¹, mudou de forma crescente no período de forma linear, enquanto que o teor de P 1,3; 1,2; 0,8 e 0,8 g kg⁻¹, foi decrescente também de forma linear.

França et al. (1987) submeteram o milheto (*Pennisetum americanum* (L.) Leeke) cv. 'Bulk-1' tido como planta pouco exigente em fertilidade do solo, tolerante à acidez e com boa resistência a períodos curtos de seca, à omissão de fósforo em solução nutritiva. O efeito do tratamento completo com fósforo foi significativo para a produção de matéria seca. Observaram que o potencial de resposta ao nitrogênio das gramíneas tropicais fica limitado na ausência de fósforo e que o fósforo beneficia o perfilhamento, enraizamento, formação e estimulação das gemas basais, alongação dos colmos afetando também a produção de proteína bruta. Os teores de fósforo encontrados foram de 3,8 g kg⁻¹ nas folhas novas, 1,5 g kg⁻¹ nas folhas velhas e 0,7 g kg⁻¹ nas folhas secas.

Entre os acessos testados por Carvalho (1995) em Pindamonhangaba a

hemártria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubb.) PI-364863 (EMPASC-302) apresentou em junho, para o crescimento de outono, em setembro para o de inverno, em novembro para o de primavera e em janeiro e em março para o de verão, relação lâmina:haste (L/H) respectivamente de 1,86; 5,34; 1,25; 0,76 e 2,61, cuja média geral foi 2,36. A variável sofreu influência significativa da época, aumentando a proporção de folhas quando a produção sofreu limitação. Carvalho (1995) determinou o teor de fósforo de 0,3; 0,3; 0,8; 0,9 e 1,6, com média geral de 0,8 g kg⁻¹ respectivamente para os crescimento de outono, inverno, primavera e os dois últimos de verão.

Monteiro et al. (1995) cultivaram braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf.) cv. 'Marandu' em solução nutritiva pela técnica de diagnose por subtração. Observaram que a omissão de fósforo limitou o crescimento da parte aérea e do sistema radicular e o número de perfilhos das plantas. No tratamento completo o teor de fósforo na parte aérea foi de 2,4 g kg⁻¹ enquanto que na sua omissão foi de 0,4 g kg⁻¹.

2.4 Amostragem e idade fisiológica

A parte amostrada da planta, conforme Martin & Matocha (1973) deve: representar o estado nutricional da planta; deve ser fácil de amostrar; deve haver relativa constância de níveis críticos em sucessivas datas de amostragens; deve ser fácil para identificar e coletar no campo e de obter quantidade de material representativo suficiente para as análises laboratoriais. A concentração de fósforo declina com a maturidade e próximo do florescimento por causa da diluição com carboidratos estruturais e outros sólidos.

Haag et al. (1967) constataram para cinco capins tropicais que os teores de fósforo nos tecidos decresceram com a idade: aos 28, 56 e 84 dias respectivamente o colonião (*Panicum maximum* Jacq.) apresentou 3,6; 2,0 e 2,4 g kg⁻¹; o gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) 3,1; 2,9 e 2,1 g kg⁻¹; o jaraguá (*Hypharrhenia rufa* (Nees) Stapf.) 3,0; 2,0 e 1,8 g kg⁻¹; o napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) 3,8; 2,4 e 2,0 g kg⁻¹; e o

pangola (*Digitaria decumbens* Stent) 2,5; 2,2 e 1,8 g kg⁻¹. A produção de matéria seca foi crescente no período.

Nascimento Júnior et al. (1976) comprovaram decréscimo linear do teor de fósforo em plantas de capim jaraguá (*Hypharrhenia rufa* (Nees) Stapf.) cultivadas em solo Podzólico Vermelho-Amarelo, amostradas aos 28; 56; 84; 112; 140 e 168 dias com, respectivamente: 2,84; 1,16; 1,10; 0,96; 0,84 e 0,84 g kg⁻¹ na planta inteira.

Johansen (1976) determinou a concentração de N, P, K, Ca, Mg, S, Al, B, Fe, Mn, Zn e Cu conforme a idade fisiológica da planta. Houve aumento do teor de Ca, Mn e Al; sem alteração para Mg, B, Zn e Cu e decréscimo para N, P, K, S e Fe das folhas mais novas para as mais velhas.

Buscando em casa de vegetação subsídios para avaliação do estado nutricional do capim colônia, (Meirelles et al., 1988) estudaram o efeito de doses de fósforo (0 a 174,80 kg ha⁻¹) em Latossolo Vermelho-Escuro álico e num Podzólico Vermelho-Amarelo distrófico para determinar o nível crítico de fósforo para o capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.) cv. 'IZ-1'. Observaram efeito significativo das doses de fósforo aplicados, em ambos os cortes, sobre o perfilhamento, a produção de matéria seca e o teor de fósforo nas folhas velhas, folhas novas, colmos e brotos. A faixa crítica de fósforo nas folhas velhas foi de 2,2 a 2,7 g kg⁻¹ de fósforo no primeiro e 1,7 a 1,9 g kg⁻¹ de fósforo no segundo corte para o Latossolo e de 1,6 a 1,8 g kg⁻¹ de fósforo no primeiro e 1,6 a 1,9 g kg⁻¹ de fósforo no segundo corte para o Podzólico. Os solos apresentaram P (Resina) = 5 mg dm⁻³ e pH (CaCl₂) = 5,0 e 4,0 para LEE e PV1s. Todos os tratamentos receberam adubação básica. Consideraram como faixa crítica os teores de fósforo no intervalo entre o índice de referência (90% da produção máxima) até o nível crítico (produção máxima). Foi significativo o efeito das doses de fósforo sobre o número de perfilhos e sobre a produção de matéria seca, de forma quadrática. O índice de referência, apesar de corresponder a 90% da produção máxima, permitiria uma economia na recomendação de adubação fosfatada no primeiro e segundo cortes de 16,60 a 18,35 para o solo LEE e de 14,85 a 14,42 kg ha⁻¹ de fósforo, para o solo PV1s. As folhas novas 1^a, 2^a e 3^a folhas mais jovens totalmente expandidas isto é, com lígula visível, mostraram

menor variação nos teores de fósforo entre cortes, praticidade de coleta e melhor correlação do teor de fósforo com a produção de matéria seca da planta, sendo por isso indicadas como folhas diagnóstico. Apresentaram faixa crítica de teor de fósforo de 1,6 a 1,9 g kg⁻¹.

2.5 Nível crítico

Avaliar o estado nutricional consiste em fazer uma comparação entre a amostra e um padrão. A amostra é uma parte de uma planta, uma planta, ou algumas plantas representativas do conjunto amostrado e o padrão plantas normais do ponto de vista nutricional. A amostra deve ser colhida do órgão ou parte adequada, na época certa para ser representativa e em quantidade que forneça material suficiente para as análises químicas (Malavolta, 1992). O conceito de que as três variáveis de crescimento: temperatura, luz e água, a quantidade do nutriente em toda a planta e a concentração de nutrientes em certos tecidos estão relacionados diretamente, tem sido usado em estudos da relação solo-planta. De outra forma a relação entre o crescimento da planta e a concentração de nutrientes nos tecidos é de grande importância com respeito ao uso da análise da planta como ferramenta prática de diagnóstico (Kamprath & Watson 1980).

De acordo com Macy (1936), "O teor crítico de um nutriente numa planta, é uma característica própria, que provavelmente raramente é atingido naturalmente. Deve ser chamado teor ideal de um nutriente na planta, porque este teor representa um balanço entre vários nutrientes e outros fatores de crescimento, tal que os nutrientes são, cada um por sua vez, apenas suficientes para a produção ótima desta planta." A maior parte da literatura refere-se ao termo nível crítico como a composição da planta abaixo da qual devem ser esperadas reduções na produção devido à baixa disponibilidade do nutriente. É também definido como a composição não controlada a 90% da produção máxima, antes do platô na zona adequada da curva de resposta (Smith, 1962).

Nível crítico de um nutriente significa que o suprimento de tal elemento está apenas acima do ponto de limitação severa do crescimento. Pode variar com as doses

de outros nutrientes ou fatores climáticos. A análise de tecidos e análise de solo devem ser complementares. A análise de tecido para diagnose nutricional baseia-se em que a planta por si só é o melhor indicador da condição de disponibilidade de nutrientes do solo. Foi reconhecida como mais conveniente para plantas perenes. A folha é a parte da planta mais comumente utilizada na amostragem por refletir o estado nutricional para vários elementos. Local chave para muitas funções metabólicas, é uma parte da planta conveniente, por facilitar a amostragem. Ressaltou que a análise de tecidos pode ser de grande utilidade na nutrição mineral de plantas, quando é conduzida e interpretada em tratamentos de calibração, quer em solução nutritiva ou em experimentos de campo. Outros elementos e condições de crescimento não devem ser limitantes. Fatores como idade do tecido, translocação do elemento, antagonismo e sinergismo com outros nutrientes, relações bioquímicas e efeito ambiental devem ser considerados na amostragem. Elementos como N, P, K, Cu, e Zn foram encontrados mais concentrados em tecidos novos enquanto que Ca, Mg, Fe, Al e B nos tecidos mais velhos da planta (Smith, 1962).

No trabalho desenvolvido por Mattos¹ com aveias (*Avena* sp) em latossolo Vermelho-Escuro fase arenosa (LEa), em que elevou a saturação por bases de 25 para 55%, houve aumento da produção de matéria seca do primeiro para o segundo corte. Na composição química das plantas houve redução do teor de N, P, K, Cu, Fe e Zn, enquanto que o teor de Ca, Mg, S e Mn aumentou do primeiro para o segundo corte.

Andrew & Robins (1971) utilizando solo com pH = 5,9 e P = 2,8 mg dm⁻³ em vasos, aplicaram doses de fósforo equivalentes 0 a 144 kg ha⁻¹ de P, tendo suprido N, K, Ca, S, B, Cu, Mo e Zn. As plantas de gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.), capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.), pasto dalis (*Paspalum dilatatum* Poir.), colonião (*Panicum maximum* Jacq.), capim de rhodes (*Chloris gayana* Kunth), sorgo negro (*Sorghum alnum* Parodi), setária (*Setaria anceps* Stapf), pangola (*Digitaria decumbens* Stent) e kikuyu (*Pennisetum clandestinum* Hochst.), foram colhidas no pré-florescimento, no

¹ MATTOS, H.B. de Comunicação pessoal, 1994.

primeiro e segundo cortes. O tratamento 72 kg de P foi o melhor para as espécies citadas exceto setária, para a qual a dose melhor foi 24 kg de P. A correlação entre as doses de fósforo e a concentração de fósforo, g kg^{-1} , nos tecidos da planta foi positiva. A espécie com a concentração mais baixa de fósforo foi o pangola e pasto dalis a espécie em que registraram a concentração mais alta. Os níveis críticos de fósforo na parte aérea de capim gordura, capim buffel, pasto dalis, colômbio, capim de rhodes, sorgo negro, setária, pangola e kikuyu amostradas no estágio de pré-florescimento foram respectivamente 1,8; 2,5; 2,5; 2,0; 2,2; 2,0; 2,1; 1,6 e 2,2 g kg^{-1} de fósforo na matéria seca.

Bates (1971) em sua revisão sobre os fatores que afetam a concentração crítica de nutrientes nas plantas, assinalou que o padrão do teor de nutrientes na planta varia com a idade, com a espécie e com o nutriente. Por esta razão, a última folha completamente expandida é utilizada por muitos pesquisadores como procedimento comum em técnica de amostragem para obter uniformidade da idade fisiológica dos tecidos amostrados. A amostragem de toda a parte aérea da planta é enganosa uma vez que os tecidos de uma planta adubada convenientemente avançam em idade fisiológica em relação a uma planta com deficiências nutricionais. Afirmou que os níveis críticos determinados em casa de vegetação são satisfatórios para aplicações em nível de campo. Também chamou a atenção para a importância do suprimento adequado dos demais nutrientes.

Para Kamprath & Watson (1980) a idéia de analisar a planta para avaliar a disponibilidade de fósforo no solo, parte de que a planta deve ser o melhor indicador da disponibilidade de nutrientes do meio em que está crescendo. Os níveis críticos de fósforo na solução do solo estão relacionados ao teor de argila do solo. O teor de fósforo requerido na solução do solo para obtenção da produção máxima varia com a espécie e o cultivar da planta. Estas diferenças podem ser devidas ao tamanho e forma do sistema radicular e à taxa de crescimento.

Conforme Mays et al. (1980) a concentração ou nível crítico do fósforo decresce com a idade da gramínea para uma mesma espécie, mais como efeito de diluição de uma alta taxa de acumulação de matéria seca do que da absorção e distribuição de

fósforo para novos crescimentos. A redistribuição do fósforo pode resultar em performance relativamente melhor de plantas estabelecidas em condições deficientes em fósforo do que em plântulas. A capacidade das forrageiras de estação quente manterem altas taxas de crescimento sob condições favoráveis implica em alta demanda por nutrientes.

O nível crítico é definido como a concentração mínima em uma parte específica da planta para possibilitar 90 a 95% da matéria seca máxima produzida. Concentração ou teor crítico para diagnose de deficiência nutricional, por análise dos tecidos da planta é rotineiramente derivada da relação entre a concentração do nutriente na planta ou em parte da planta e a matéria seca total. N, P, K e Mg são diagnosticados, por serem móveis, nas folhas e partes velhas, Ca, Fe, Mn e B nas folhas e partes novas, S, Cu, Zn e Mo, tem mobilidade variável, assim o Zn o é nas folhas velhas inicialmente e o S, Cu e Mo o são nas folhas novas inicialmente, (Fageria, 1992).

O princípio básico do uso da análise de tecidos de plantas para diagnóstico nutricional é o de que a composição química da planta reflete seu suprimento de nutrientes no solo, em relação ao crescimento. Deve-se reconhecer que a composição química das plantas em geral, é um resultado da interação entre suprimento de nutrientes e crescimento da planta. Qualquer fator que limite o crescimento, seja ele luz, água, temperatura, ou algum nutriente pode causar o acúmulo de outros nutrientes na planta. O crescimento é função da concentração de nutrientes na planta. Valores na faixa tóxica podem ser devidos tanto a uma toxicidade específica do nutriente por si como B, ou por deficiência secundária como a de Zn induzida por excesso de fósforo, (Martin & Matocha, 1973).

São, conforme Jones (1967), consideradas as faixas de concentração deficiente, baixa, adequada, alta e disponibilidade excessiva, indicativas para cada elemento macro e micronutrientes essenciais para o crescimento de plantas. A faixa de concentração deficiente inclui composição de plantas com deficiência aguda mostrando sintomas definidos com produções abaixo de 70 a 80% do máximo. A faixa baixo inclui a fome escondida onde a resposta deve ser esperada mas não sintomas claros e produções

de 80 a 90% do máximo. A zona adequada é obtida para indicar a concentração em plantas mostrando 90 a 100% da produção máxima, enquanto que a zona de excesso ou alta indica plantas com concentrações excessivamente altas ou tóxicas. O valor superior da faixa baixo é o freqüentemente chamado nível crítico.

Segundo Kamprat & Watson (1980) uma fração importante da relação matemática entre crescimento da planta e concentração de nutriente é a parte da curva que relaciona-se a 90% do crescimento máximo, chamada também de concentração crítica. Espera-se que os valores da concentração de nutrientes na planta abaixo da concentração crítica indiquem uma condição deficiente com relação ao crescimento da planta. Valores maiores do que a concentração crítica devem indicar suficiência do nutriente. O conceito de concentração crítica de fósforo em certos tecidos da planta é da maior importância para o uso da análise de plantas como base de diagnóstico. A concentração crítica refere-se à concentração de nutriente no organismo que pode manter suas funções metabólicas a taxas que não limitem o crescimento. Quando próxima da produção máxima, a taxa de produção de matéria seca decresce e eventualmente chega a zero apesar da acumulação de fósforo no interior da planta aparentemente continuar aumentando a concentração de fósforo.

Salinas & Sanchez (1976) ressaltaram que há uma concentração ótima de fósforo disponível na solução do solo, correlacionada com ótimo crescimento, que varia com cada espécie ou cultivar. A quantidade de fertilizante necessária para elevar a concentração de fósforo disponível na solução do solo a $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$, índice considerado mínimo para bom desenvolvimento das plantas, varia em função da capacidade de fixação de fósforo no solo, podendo ser necessário adicionar de 25 mg dm^{-3} a 750 mg dm^{-3} .

De acordo com os autores acima, a concentração de fósforo na solução do solo capaz de possibilitar a obtenção de 95% da produção máxima de matéria seca, pode ser considerada nível crítico externo. O nível crítico externo requerido pode ser mais alto na fase inicial de desenvolvimento, ou de estabelecimento, o que sugere que o suprimento de fósforo para as leguminosas tropicais é especialmente crítico durante o período de estabelecimento. Há evidências de que ocorram diferenças consideráveis entre espécies

com respeito ao nível crítico externo e ao nível crítico interno de fósforo. Estas diferenças podem estar relacionadas ao teor de fósforo nos solos em que estas espécies evoluíram. Cinco mecanismos foram enumerados na tentativa de explicar estas diferenças: extensão das raízes, exsudação das raízes, influência de fungos micorrízicos, equilíbrio de nutrientes e diferenças nas taxas de absorção e translocação de fósforo em relação às taxas de crescimento, considerando o último mecanismo como o mais importante sem excluir os demais. Em solos ácidos, a adaptação à alta saturação de alumínio e manganês não pode ser separada da adaptação à baixa disponibilidade de fósforo. A combinação de variedades adaptadas à baixa disponibilidade de fósforo, adubação correta com fósforo e corretivos de acidez para reduzir a fixação de fósforo, pode resultar numa forma efetiva para a utilização econômica de muitos solos tropicais com capacidade de fixação de fósforo extremamente alta (Salinas & Sanchez, 1976).

Smith (1988) registrou em trabalho de revisão que em gramíneas os níveis críticos de fósforo encontrados estavam numa faixa entre 1,6 a 2,5 g kg⁻¹, enquanto que nas leguminosas a faixa foi mais ampla variando de 0,65 a 4,7 g kg⁻¹.

Conforme Gomide (1989), para a recomendação de fertilização com fósforo não se deve apenas considerar o fósforo disponível, mas também a capacidade do solo, de repor fósforo na solução do solo (P lábil $\Rightarrow$ P solução) e o nível crítico de fósforo para a espécie em questão. Genericamente, elevado nível crítico reflete alto requerimento de fósforo para o estabelecimento das espécies, particularmente das leguminosas.

Andrade et al. (1975) na sua revisão registraram que o teor de um nutriente em qualquer parte da planta depende da época da amostragem e que o nível crítico de um elemento, pode variar para cada teor dos demais nutrientes.

Para Smith (1975), haveria a possibilidade de usar a concentração de fósforo em diferentes partes de uma gramínea forrageira para diagnosticar o estado de nutrição de fósforo na planta. O nível crítico de fósforo determinado usando a mais nova folha expandida, com lígula aparente, do capim colônia (*Panicum maximum* var. *trichoglume* (Schum.) Hubb.) cv. 'Petrie', capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) cv. 'Biloela'

ou setária (*Setaria sphacelata* (Schum) Moss.) cv. 'Nandi', foi quase idêntico ao obtido com toda a parte aérea da planta. O nível crítico no colmião e na setária decresceu com a idade da planta. Para as partes aéreas das plantas foi de: 5,5 e 4,6 g kg⁻¹ em plantas com três ou quatro folhas na haste principal, 3,2 e 3,6 g kg⁻¹ em plantas com quatro ou cinco folhas na haste principal e 1,5 e 2,4 g kg⁻¹ em plantas com seis a sete folhas na haste principal, para colmião e setária, respectivamente. Quando usou a mais nova folha expandida, observou declínio semelhante no teor de fósforo conforme a idade.

Christie (1975) relatou que o capim buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) atingiu consumo de luxo quando a dose de fósforo aplicada ultrapassou 24 kg ha⁻¹, quando o nível crítico de fósforo foi estimado em 2,6 g kg⁻¹. Observou concentração alta de fósforo em plântulas até os onze dias, declinando após este período. Acima de 35 mg dm⁻³ de fósforo disponível no solo as plântulas não apresentaram diferença na produção de matéria seca, apesar da concentração de fósforo ter aumentado. A influência da dose de fósforo aplicada foi maior na fase inicial, diminuindo com a aproximação de estágio de florescimento. Plântulas cultivadas em dose baixa de fósforo produziram somente 0,43 mg de matéria seca por grama de água consumida, aos 24 dias, enquanto que as cultivadas com dose alta de fósforo produziram 3,17 mg de matéria seca por grama de água consumida.

Martinez & Haag (1980) calcularam equações de regressão representativas da massa de matéria seca (y) em função das doses de fósforo na solução nutritiva (x), para determinar o nível crítico externo e massa de matéria seca (y) em função dos níveis de fósforo na matéria seca (x), para determinar o nível crítico interno. Os níveis críticos internos de fósforo encontrados em cada forrageira foram: pangola (*Digitaria decumbens* Stent) 3,8 g kg⁻¹, braquiária decumbens (*Brachiaria decumbens* Stapf) 3,2 g kg⁻¹, humidícola (*Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick) 2,6 g kg⁻¹, gordura (*Melinis minutiflora* Beauv.) 2,4 g kg⁻¹, colmião (*Panicum maximum* Jacq.) 2,4 g kg⁻¹ e napier (*Pennisetum purpureum* Schum.) 2,0 g kg⁻¹. O teor de P nas folhas foi superior ao encontrado nos colmos.

Orellana & Haag (1982) determinaram aos 75 dias o nível crítico externo

de 0,48 mg L⁻¹ de solução e nível crítico interno de 0,22 g kg⁻¹ de fósforo correspondente à produção máxima de matéria seca, para o capim andropogon (*Andropogon gayanus* Kunth var. *bisquamulatus* (Hochst) Hack.) cultivado em solução nutritiva sob doses de fósforo de 0,0001 a 31,80 mg L⁻¹.

Costa et al. (1983) em experimento conduzido em casa de vegetação com solo Podzólico Vermelho-Amarelo Latossólico distrófico, com pH (H₂O) = 4,5 e P = 4 mg dm⁻³, aplicaram adubação com N, K, Mg e S e cinco doses de fósforo de 0 a 400 mg dm⁻³ em solução, testando capim jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Nees) Stapf) e capim colônia (*Panicum maximum* Jacq). Os níveis críticos para produção máxima de matéria seca, variaram de 3,1 g kg⁻¹ a 4,0 g kg⁻¹ para o capim jaraguá e de 2,7 g kg⁻¹ a 4,5 g kg⁻¹ para o capim colônia, para o primeiro e segundo crescimentos.

Fonseca et al. (1988) procuraram estimar os níveis críticos de fósforo pelo extrator Mehlich-1 e Bray-1 em amostras de onze Latossolos para as espécies andropogon (*Andropogon gayanus* Kunth var. *bisquamulatus* (Hochst.) Hack.), cv. 'Planaltina', braquiária decumbens (*Brachiaria decumbens* Stapf.) e capim jaraguá (*Hyparrhenia rufa* (Nees.) Stapf.), aplicando doses de fósforo de 0 a 75% da capacidade máxima de absorção de fósforo de cada solo em experimento conduzido em casa de vegetação. Aos 45 dias de crescimento inicial e aos 25 dias de rebrote, avaliaram os níveis críticos de fósforo no solo. Os menores valores foram para a (*Brachiaria decumbens* Stapf), seguida por (*Hyparrhenia rufa* (Nees.) Stapf.) e (*Andropogon gayanus* Kunth). Os níveis críticos externos variaram de 1 a 10 mg dm⁻³, com a média de 3,27 mg dm⁻³, porém oito foram inferiores a 3 mg dm⁻³. Foram maiores os valores estimados para o primeiro corte.

Num solo com baixo teor de fósforo disponível, Mesa et al. (1989), determinaram os níveis críticos de fósforo em *Brachiaria purpurascens* pelo método gráfico com emprego de quadrantes (Cate & Nelson, 1985) e a influência do elemento sobre a composição química da planta. Utilizaram nove doses crescentes de nitrogênio, fósforo e potássio, todos de 0 a 400 kg ha⁻¹. As doses de nitrogênio, fósforo e potássio que proporcionaram rendimentos máximos de matéria seca foram 150, 100 e 93 kg ha⁻¹.

Quando compararam o rendimento na dose zero com o rendimento máximo, a diferença proporcionada pelo fósforo foi a maior, indicando ser o elemento mais importante na produção de matéria seca. O nível crítico para fósforo foi de $1,13 \text{ g kg}^{-1}$, na interpretação dos autores a espécie pode ser explorada em solos de fertilidade baixa a média.

Palhano & Haddad (1992) observaram em experimento de campo sobre Latossolo Roxo distrófico $\text{pH} = 5,2$ e $\text{P} = 1,2 \text{ mg dm}^{-3}$, com calagem e fertilização, que a concentração de fósforo na matéria seca de (*Cynodon dactylon* (L.) Pers.) cv. 'Coast-cross nº 1' decresceu de forma quadrática dos vinte aos setenta dias, enquanto a produção de matéria seca aumentou de forma quadrática. O nível crítico de fósforo em amostras da parte aérea para 90% da produção máxima, calculado a partir de equação de regressão, foi de $1,9 \text{ g kg}^{-1}$ aos 48 dias de crescimento.

Corrêa & Haag (1993a) conduzindo estudos em casa de vegetação, determinaram os níveis críticos de fósforo em Latossolo Vermelho-Amarelo álico, avaliados pelos extratores Mehlich-1 e Resina para o estabelecimento de braquiária decumbens (*Brachiaria decumbens* Stapf.), braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf.) cv. 'Marandu' e capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.), aplicando doses de fósforo de 0 a 560 mg dm^{-3} . Os níveis críticos de fósforo no solo foram obtidos por equações de regressão ajustadas entre o fósforo aplicado e o extraído por cada extrator. A produção de matéria seca de cada espécie foi ajustada a modelos matemáticos em função das doses de fósforo aplicadas. Nas espécies em que a estimativa da produção máxima extrapolou o intervalo estudado, tomaram como 100% a produção obtida com a dose mais alta de fósforo.

O fósforo foi importante para o estabelecimento destas espécies pela acentuada resposta obtida nos dois cortes. Na ausência de aplicação de fósforo o perfilhamento foi muito reduzido para as três espécies. Para braquiária decumbens (*Brachiaria decumbens* Stapf.), braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* (Hochst.) Stapf.) cv. 'Marandu' e capim colônia (*Panicum maximum* Jacq.) em casa de vegetação, o nível crítico para 90% da produção máxima na matéria seca da planta no primeiro corte foi 1,2; 1,6 e $1,5 \text{ g kg}^{-1}$, no segundo corte 1,0; 1,6 e $1,4 \text{ g kg}^{-1}$ e no solo (Mehlich)

no primeiro corte foi 12,0; 8,5 e 8,0 mg dm⁻³ e no segundo corte 11,5; 12,0 e 14,0, mg dm⁻³; no solo (Resina) no primeiro corte foi 18,0; 15,0 e 13,0 mg dm⁻³ e no segundo corte 18,0; 22,0 e 24,0, mg dm⁻³ respectivamente para as forrageiras citadas acima (Corrêa & Haag, 1993a).

Corrêa & Haag (1993b) determinaram em experimento de campo, os níveis críticos de fósforo no solo pelos extratores Mehlich-1 e Resina e na matéria seca da planta para o estabelecimento de braquiária decumbens (*Brachiaria decumbens* Stapf.), braquiária brizanta (*Brachiaria brizantha* (Hochst) Stapf.) cv. 'Marandu' e capim colômbio (*Panicum maximum* Jacq.), em Latossolo Vermelho-Amarelo álico com pH (CaCl₂) = 4,2 e P (Resina) = 2,5 mg dm⁻³, empregando sete doses de fósforo (0 a 279,68 kg ha⁻¹). Encontraram diferenças de respostas no campo para vasos e entre as três forrageiras. As plantas após a fase de implantação exploraram melhor o fósforo nativo, quando o sistema radicular, apto a explorar maior volume de solo e também pela possibilidade de associação com micorrizas, respondendo menos ao fósforo aplicado. No campo no primeiro corte o nível crítico para 90% da produção máxima na planta foi 1,0; 1,7 e 0,7 g kg⁻¹, no segundo corte 1,0, não determinado para a brizanta e 0,9 mg kg⁻¹; no solo (Mehlich) no primeiro corte foi 4,7; 10,8 e 8,0 mg dm⁻³ e segundo corte 3,0, não determinado para a brizanta e 3,5 mg dm⁻³, no solo (Resina) no primeiro corte foi 10,7; 21,8 e 16,8 mg dm⁻³, no segundo corte 5,8, não determinado para brizanta e 6,5 mg dm⁻³, respectivamente para braquiária decumbens, braquiária brizanta e capim colômbio.

Carvalho et al. (1994) utilizando cinco doses de fósforo, de 0 a 174,8 kg ha⁻¹ através de experimentos de campo, determinaram os níveis críticos de fósforo requeridos para o estabelecimento de capim andropogon (*Andropogon gayanus* Kunth.) cv. 'Planaltina' e setária (*Setaria sphacelata* (Schum.) Moss.) cv. 'Kazungula' em Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso. Os níveis críticos no solo para 90% do crescimento máximo, foram 7,78 e 5,40 mg dm⁻³ para o capim andropogon e 11,96 e 9,45 mg dm⁻³ de fósforo (Mehlich-1) para o capim setária, respectivamente para os dados do primeiro corte e do primeiro ano. A dose necessária de fósforo, para 90% da produção máxima, para o capim andropogon foi de 39,54 kg ha⁻¹ e para a setária de

75,16 kg ha⁻¹, no primeiro ano. No segundo ano não houve resposta à adubação fosfatada. Ambas as gramíneas são consideradas adaptadas a solos de baixa fertilidade e que também tem boa resposta à fertilização. Segundo os autores, redução da resposta de gramíneas tropicais à aplicação de fósforo, ao longo do tempo, indica que na fase inicial de crescimento, as gramíneas necessitam uma maior concentração de fósforo no solo que após o período de estabelecimento. A maior exigência de fósforo na fase inicial de crescimento das gramíneas parece estar associada ao ainda pequeno desenvolvimento do sistema radicular e ao período necessário ao estabelecimento de associações com fungos micorrízicos. O desenvolvimento do sistema radicular tem papel importante na obtenção de nutrientes em solos de baixa fertilidade.

Costa et al. (1996) em ensaio conduzido em casa de vegetação, com Latossolo Vermelho-Amarelo argiloso, fase floresta com pH = 5,2 e P = 2 mg dm⁻³, empregaram cinco doses de fósforo de 0 a 120 mg dm⁻³ de solo. O efeito das doses de fósforo sobre a produção de matéria seca do (*Paspalum atratum*) cv. 'BRA-009610' foi quadrático. O nível crítico interno de fósforo foi de 1,5 g kg⁻¹ com a dose correspondente de 107 mg dm⁻³ de fósforo. O teor de proteína na matéria seca evoluiu de forma quadrática decrescente com o aumento das doses de fósforo, por efeito de diluição em função do aumento de produção de matéria seca.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local

O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Estação Experimental Central do Instituto de Zootecnia, em Nova Odessa, Estado de São Paulo, localizada nas coordenadas geográficas de 22° 42' latitude Sul, 47° 18' longitude Oeste de Greenwich, com altitude de 500 metros acima do nível do mar.

3.2 Solo

O solo utilizado no experimento foi um Latossolo Vermelho-Escuro orto, proveniente de Itapetininga (SP). O solo foi coletado numa profundidade de 20 centímetros, seco à sombra e peneirado em malha de 3 mm. A amostra, analisada quimicamente no laboratório do Setor de Nutrição Mineral de Plantas do Departamento de Química da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", apresentou: pH (CaCl₂) = 4,05, M.O. = 34,6 g dm⁻³, P(resina) = 1,2 mg dm⁻³, K = 1,2 mmol_c dm⁻³, Ca = 4,2 mmol_c dm⁻³, Mg = 4,3 mmol_c dm⁻³, H+Al = 89,3 mmol_c dm⁻³, SB = 10,0 mmol_c dm⁻³, T = 99,0 mmol_c dm⁻³, V% = 9,80, Cu = 1,63 mg dm⁻³, Fe = 35,2 mg dm⁻³, Mn = 4,3 mg dm⁻³ e Zn = 0,71 mg dm⁻³.

3.3 Espécie forrageira

Foram estudadas plantas de Hemátria (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubb.) cv. PI-364863 (EMPASC-302) (Carvalho, 1995). As mudas de hemátria foram fornecidas pela Estação Experimental de Lages, SC, da Empresa de

Pesquisa Agropecuária e de Extensão Rural de Santa Catarina S.A. - EPAGRI.

3.4 Preparo dos vasos e calagem

A quantidade de solo utilizada foi de 3,9 kg, acondicionada em sacos plásticos e colocada em vasos de cerâmica impermeabilizados internamente com neutrol. Cada vaso recebeu 2,60 g de CaO e 1,49 g de MgO, com o objetivo de elevar a saturação por bases para 50%. Os óxidos de cálcio e de magnésio foram adicionados ao solo e misturados por cinco minutos, buscando homogeneizá-los.

Os vasos foram agrupados sobre uma bancada e cobertos com lona plástica para evitar perda excessiva de água por evaporação durante o período de incubação. Os vasos foram irrigados semanalmente, com quantidade igual de água, até próximo à capacidade de campo e foram mantidos assim por 49 dias até o plantio das mudas de hemártria.

3.5 Plantio das mudas

Antes do plantio foi coletada uma amostra composta de solo para cada repetição dos tratamentos, para ser submetida a análise química.

O plantio da hemártria foi realizado em 29 de setembro de 1995. As mudas de hemártria foram obtidas retirando-se de touceiras os estolões, que foram separados, contendo pequena porção de rizoma com raízes e cortados a 12 cm de comprimento. Em cada vaso foram plantadas cinco mudas. Todos os vasos receberam 100 ml de água desionizada para facilitar a posterior distribuição dos nutrientes.

3.6 Adubação

Os nutrientes K, S, B, Cu, Mo e Zn (Tabela 1), foram adicionados em todos os vasos em seguida do plantio das mudas da hemártria. As respectivas fontes foram diluídas em 100 mililitros de água desionizada por vaso. Por fim, foram aplicadas

as fontes de fósforo (Tabela 2), cujas quantidades também foram diluídas em 100 ml de água desionizada por vaso. A hemátria recebeu adubação nitrogenada somente após o enraizamento das mudas.

Tabela 1. Fontes de nutrientes utilizadas e doses aplicados no plantio da hemátria.

Nutriente	Dose (kg ha ⁻¹)	Fonte ⁽¹⁾ (g vaso ⁻¹)			
N ⁽²⁾	150,00	CO(NH ₂) ₂	0,501	-	-
K	110,18	KH ₂ PO ₄	(Tabela 2)	KCl	(4)
Ca ⁽³⁾	169,47	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O	(Tabela 2)	CaCl ₂	(5)
S	40,00	Na ₂ SO ₄	0,276	-	-
B	0,50	H ₃ BO ₃	0,0045	-	-
Cu	2,00	CuSO ₄ .5H ₂ O	0,0123	-	-
Zn	2,00	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,0137	-	-

¹ Reagentes puros para análise (p. a.).

² Adubação nitrogenada realizada em 06 de outubro de 1995.

³ Cálcio aplicado como componente da fonte de fósforo.

⁴ Tratamentos dose 0,00 = 0,328 e dose 43,65 kg P ha⁻¹ = 0,164 g vaso⁻¹.

⁵ Tratamentos dose 0,00 = 0,732; dose 34,65 = 0,732; dose 87,30 = 0,732; dose 174,60 = 0,488; dose 261,90 = 0,244 e dose 349,20 kg P ha⁻¹ = 0,000 g vaso⁻¹.

Foram observados sintomas de deficiência de Mn e Zn em plantas de galácia em experimento semelhante conduzido paralelamente com o mesmo solo. Levando-se em consideração os teores iniciais médios e a elevação da saturação por bases e a condição de plantio em vasos, como prevenção, em 20 de outubro de 1995 foram aplicados 2 kg Mn ha⁻¹ na forma de MnCl₂.4H₂O diluído em água desionizada. Em 27 de outubro de 1995 foram substituídas as mudas de hemátria que apresentaram pouca vitalidade e aplicou-se 2 kg Mn ha⁻¹ na hemátria, em forma de MnCl₂.4H₂O diluído em água desionizada. Em 03 de novembro de 1995 foram aplicados 2 kg ha⁻¹ de Zn na hemátria, em forma de ZnSO₄.7H₂O diluído em água desionizada.

Após o primeiro corte foram aplicadas as adubações nitrogenada e potássica de reposição, em cobertura. Para a reposição de nitrogênio na hemátria, repetiu-se a adubação inicial com 150 kg ha⁻¹ de N na forma de CO(NH₂)₂ e a reposição do potássio, com KCl, foi baseada em 2% da matéria seca colhida (Werner, 1986).

Tabela 2. Fontes e doses de fósforo utilizadas para compor os tratamentos.

Tratamentos	P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	P (kg ha ⁻¹) ⁽²⁾	Fonte ⁽¹⁾ (g vaso ⁻¹) ⁽³⁾			
T1	0	0,00	-	0,000	-	0,000
T2	100	43,65	KH ₂ PO ₄	0,299	-	0,000
T3	200	87,30	KH ₂ PO ₄	0,598	-	0,000
T4	400	174,60	KH ₂ PO ₄	0,598	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O	0,554
T5	600	261,90	KH ₂ PO ₄	0,598	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O	1,108
T6	800	349,20	KH ₂ PO ₄	0,598	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ .H ₂ O	1,662

¹ Reagentes puros para análise (p.a.).² Considerando por hectare (100 m x 100 m x 0,20 m x 1.250 kg m⁻³); P₂O₅ x 0,4365 = P.³ Vaso com 3,9 kg de solo.

3.7 Tratos culturais

A partir do plantio das mudas da hemátria, os vasos foram irrigados diariamente, para que o teor de água no solo permanecesse próximo à capacidade de campo. Também foi mantido controle de temperatura interna da casa de vegetação.

3.8 Colheita e preparo das amostras

Foram realizados dois cortes. No primeiro corte da hemátria aos 56 dias, em 24 de novembro de 1995, as plantas foram cortadas cerca de dois centímetros acima do colo. As plantas foram separadas em duas frações, correspondendo a primeira às lâminas foliares e a segunda às hastes (colmos + bainhas das folhas), que foram embaladas em sacos de papel e identificadas.

No segundo corte da hemátria aos 28 dias, em 22 de dezembro de 1995, as plantas foram separadas em parte aérea e raízes, cortadas no colo. A parte aérea foi separada da mesma forma que no primeiro corte. As raízes foram lavadas, embaladas em sacos de papel e identificadas. Em ambos os cortes determinou-se a produção de matéria seca, em estufa com circulação forçada de ar a 65 °C por 48 horas, de todas as frações da parte aérea e do sistema radicular, coletadas das plantas. Antes de cada corte da hemátria registrou-se o número de perfilhos por vaso.

3.9 Análise química do solo

Por ocasião do plantio, após o período de incubação e do segundo corte, foram coletadas amostras de solo, com a finalidade de avaliar a disponibilidade de nutrientes no solo para cada tratamento e cada espécie. Estas amostras foram analisadas para determinação de macro e micronutrientes, $H+Al$, Al^{3+} , matéria orgânica e pH.

A matéria orgânica foi extraída via úmida e determinada por colorimetria. A determinação do pH foi feita em mistura 1:2,5 de solo e solução de $CaCl_2$ 0,01M. O $H+Al$ ou acidez potencial foi determinada através da solução tampão SMP. O fósforo foi extraído pelo método da resina trocadora de íons e determinado por colorimetria pelo método do Azul de Molibdênio. O Ca, Mg e K foram extraídos por resina trocadora de íons, sendo Ca e Mg determinados por espectrofotometria de absorção atômica e o K por fotometria de chama (Raij et al., 1987). O alumínio trocável foi extraído por solução de KCl 1N e determinado por titulometria com NaOH 0,025N. Os micronutrientes Cu, Fe, Mn e Zn foram extraídos por DTPA a pH 7,3 e determinados por espectrofotometria de absorção atômica (Bataglia & Raij, 1989) e o boro foi extraído por solução de $BaCl_2$ 0,125% (microondas - água quente) e determinado pelo método da azometina-H com leitura no espectrofotômetro (Bataglia & Raij, 1989).

3.10 Análise química do material vegetal

As amostras de matéria seca foram moídas em moinho tipo Wiley com peneira de 2 mm de malha e enviadas ao laboratório para determinação do teor de P.

O fósforo foi determinado em extrato obtido da digestão nitro-perclórica das amostras por colorimetria (Sarruge & Haag, 1974).

3.11 Análise estatística

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com seis tratamentos e cinco repetições. A unidade de observação, consistiu em um vaso de cerâmica contendo num saco plástico, 3,9 kg de solo com cinco plantas. Os seis tratamentos foram as doses de fósforo: 0; 43,65; 87,30; 174,60; 261,90 e 349,20 kg ha⁻¹. Os tratamentos foram distribuídos em cinco blocos, cada bloco contendo seis vasos, cada vaso com um dos tratamentos aleatorizados.

As variáveis observadas para a hemártria foram: teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF); teor de fósforo na matéria seca das hastes (colmos + bainhas) (PCB); teor de fósforo na matéria seca da parte aérea (PPA) e fósforo acumulado na matéria seca da parte aérea (PAC) por vaso (parcela); produção de matéria seca (MS) da parte aérea e das raízes (MSR) por vaso (parcela); relação matéria seca por vaso (parcela) das lâminas foliares/matéria seca das hastes (colmos + bainhas) (L/H) e número de perfilhos (NP) por vaso (parcela).

Utilizou-se o modelo matemático:

$$y_{ij} = m + p_i + b_j + e_{ij}$$

com: $i = 1, 2, \dots, I = 6$ doses de P;

$j = 1, 2, \dots, J = 5$ blocos (repetições);

Onde:

y_{ij} = valor observado para uma determinada variável em estudo, proveniente do i -ésimo tratamento no j -ésimo bloco;

m = média geral das observações;

p_i = efeito da i -ésima dose de P;

b_j = efeito do j -ésimo bloco;

e_{ij} = erro aleatório inerente a cada observação y_{ij} , suposto independente e normalmente distribuído.

Nos casos em que três ou mais das cinco repetições para uma dose de fósforo foram perdidas, aquela dose foi eliminada da análise. Quando foram perdidas duas ou uma repetição para um dada dose de tratamento, a análise da variância foi

efetuada como blocos incompletos, onde a soma dos quadrados das doses de fósforo foram ajustadas pelos blocos.

Tabela 3. Esquema utilizado para aplicação do teste F na análise de variância segundo o modelo matemático utilizado.

Causas da Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F
Blocos	J - 1	SQ Blocos	V1	V2 / V3
Doses de P	I - 1	SQ doses	V2	
Resíduo	(I - 1)(J - 1)	SQ Resíduo	V3	
Total	IJ - 1			

Onde: I = nº de doses de P = 6; J = nº de blocos = 5; V1, V2 e V3 são as variâncias associadas às causas de variação.

Aplicou-se a análise exploratória dos dados para verificar a observância dos três pressupostos da análise da variância: o da homogeneidade de variâncias de tratamentos; o da independência das observações e o da normalidade ou distribuição normal das observações. Quando não foi verificada homocedasticidade de variâncias, aplicou-se transformação de dados.

Tabela 4. Esquema utilizado para aplicação do teste F na análise de variância para blocos incompletos segundo o modelo matemático utilizado.

Causas da Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F
Blocos	J - 1	SQ Blocos	V1	V2 / V3
Doses de Paj	I - 1	SQ Doses aj	V2	
Resíduo	(I-1)(J-1)-pp	SQ Resíduo	V3	
Total	IJ - 1 - pp			

Onde pp = nº de observações perdidas.

A hipótese testada pela aplicação do teste F foi:

$H_0 : \beta_1 = 0$ contra $H_a : \beta_1 \neq 0$, onde:

β_1 é o coeficiente angular da equação da reta.

Para detalhamento da análise da variância, quando o teste F evidenciou diferenças entre tratamentos, as doses de P (X), considerando-se como nível de significância mínima de 5% ($P < 0,05$), fez-se um estudo de regressão polinomial, por

tratar-se de um fator quantitativo. O estudo de regressão polinomial foi feito através do desdobramento dos graus de liberdade das doses de P.

Tabela 5. Esquema utilizado para a análise de regressão e aplicação do teste F.

Causas da Variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados	Quadrados Médios	F
Regressão Linear	1	SQRL	V1	V1 / V4
Regressão Quadrática	1	SQRQ	V2	V2 / V4
Desvios de Regressão	I - 2	SQDesvios	V3	V3 / V4
Resíduo	(I - 1)(J - 1)	SQResíduo	V4	

Tomou-se como representativa a função polinomial de mais alto grau, significativa pelo teste F, a partir do modelo:

$$Y = a + bX + cX^2 + \dots + e_{ij}$$

Onde:

Y é a variável dependente, resposta;

X são as doses de P, variável independente.

As variáveis foram analisados pela análise da variância com aplicação do teste F e quando significativo ($P < 0,05$), aplicou-se a análise de regressão polinomial às variáveis em função das doses de fósforo dos tratamentos, com auxílio do programa para análises estatísticas SANEST (Zonta & Machado, 1987). Sempre que o ajuste foi de 2º grau, calculou-se o ponto de inflexão, máximo ou mínimo, através da primeira derivada da função.

Para as variáveis matéria seca da parte aérea e número de perfilhos das plantas de hemátria foi feito um estudo de correlação com os teores de fósforo na matéria seca (Fageria, 1992), obtidos como resposta às doses de fósforo aplicadas nos tratamentos, pelo programa para análises estatísticas SAS (Freund & Littell, 1981).

3.12 Determinação do nível crítico de fósforo

Utilizando-se a equação da função de produção de matéria seca, foi calculada a resposta (g parcela^{-1}) no ponto de máximo e a partir daí, obtida a abscissa

(kg ha⁻¹) da produção relativa de 90%. Esta abcissa foi então utilizada na equação do teor de fósforo para calcular o teor de fósforo (g kg⁻¹) conhecido como nível crítico de fósforo ou teor crítico de fósforo ou nível crítico interno de fósforo, obtendo-se assim, o teor correspondente ao nível crítico a 90% da produção máxima e as respostas das demais variáveis na dose de fósforo (kg P ha⁻¹) correspondente ao nível crítico de fósforo, para o primeiro e segundo cortes (Martinez & Haag, 1980; Meirelles et al., 1988; Palhano & Haddad, 1992; Corrêa & Haag, 1993a; Corrêa & Haag, 1993b; Carvalho et al., 1994).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Solo

Observando os resultados das análises das amostras de solo colhidas antes da incubação, após a incubação para elevar a saturação por bases para $V\%=50$ e por ocasião do segundo corte, percebe-se que os atributos do solo alteraram-se, conforme constata-se através das análises de solo (Tabela 6). A acidez, determinada pelo pH em CaCl_2 , muito alta na amostra inicial com o solo em sua condição natural, manteve-se alta após a incubação e em todos os tratamentos também no final do experimento (Raij et al., 1996).

O teor de fósforo determinado pelo método da resina trocadora de íons, foi muito baixo no início, manteve-se após a incubação (Tabela 6) e com a aplicação dos tratamentos (Tabela 2) variou de muito baixo para a dose 0 kg P ha^{-1} , baixo para a dose $43,65 \text{ kg P ha}^{-1}$, médio para a dose $87,30 \text{ kg P ha}^{-1}$ e dose $174,60 \text{ kg P ha}^{-1}$, alto para a dose $261,90 \text{ kg P ha}^{-1}$ e muito alto para a dose $349,20 \text{ kg P ha}^{-1}$ (Raij et al., 1996).

O fósforo disponível na solução do solo, na dose 0 kg P ha^{-1} , sem adição de fósforo, determinado pelo método da resina trocadora de íons, aumentou de $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$, antes da incubação, para $2,4 \text{ mg dm}^{-3}$ no plantio e para $3,5 \text{ mg dm}^{-3}$ por ocasião do segundo corte da hemátria. Nas doses de $43,65 \text{ kg P ha}^{-1}$ a $349,20 \text{ kg P ha}^{-1}$, o fósforo disponível aumentou de $1,2 \text{ mg dm}^{-3}$ para $6,5$ e $69,5 \text{ mg dm}^{-3}$, respectivamente.

A saturação por bases estava muito baixa no início e baixa após a incubação em todos os tratamentos. A porcentagem de saturação por bases aproximou-se do valor planejado, $V\%=50$, apenas nas doses zero de fósforo adicionado, $43,65 \text{ kg P ha}^{-1}$ e $87,30 \text{ kg P ha}^{-1}$. Nas demais doses ficou abaixo do valor proposto.

4.2 Fósforo (P)

O estudo referente a fósforo compreende a determinação do teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF), das hastes (PCB), cálculo do fósforo acumulado por parcela (vaso) (PAC), cálculo do teor de fósforo para a parte aérea (PPA), correlações da produção de matéria seca (MS) com as variáveis de teor de fósforo e cálculo do nível crítico de fósforo utilizando as variáveis de produção de matéria seca na parte aérea e teor de fósforo.

4.2.1 Teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF)

O teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF) no primeiro corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Foi obtida uma função de regressão de segundo grau, com coeficiente de determinação de 73,91%, evidenciando bom ajuste (Figura 1.a) e coeficiente de variação de 7,69% evidenciando baixa variabilidade. O teor médio de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF) no primeiro corte foi $1,78 \text{ g kg}^{-1}$ (Anexo A). O teor de fósforo ajustado variou de $1,15 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de 0 kg P ha^{-1} a $2,19 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de $245,54 \text{ kg P ha}^{-1}$ (Anexo D).

O teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF) no segundo corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Foi obtida uma função de regressão de segundo grau, com coeficiente de determinação de 72,23%, evidenciando bom ajuste (Figura 1.c) e coeficiente de variação de 10,97% evidenciando baixa variabilidade. O teor médio de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF) no segundo corte foi $1,71 \text{ g kg}^{-1}$ (Anexo A). O teor de fósforo ajustado variou de $1,16 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de 0 kg P ha^{-1} a $2,07 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de $248,85 \text{ kg P ha}^{-1}$ (Anexo D).

A dose para atingir o máximo foi levemente maior no segundo corte, quando houve maior produção de matéria seca e isto pode ser devido à redistribuição do fósforo na planta (Mays et al., 1980). O teor de fósforo na dose zero, no segundo corte,

Figura 1. Representação gráfica do teor de fósforo encontrado na matéria seca das lâminas foliares (PLF) e dos colmos e bainhas (PCB), das plantas de henártria no primeiro e no segundo cortes, em relação às doses de fósforo dos tratamentos.

foi mais elevado que no primeiro corte, num indício de melhor adaptação. Quando as plantas encontrando-se com o sistema radicular melhor desenvolvido, podem também em condições de existência de inóculo desenvolver-se associações com fungos micorrízicos, explorando melhor o fósforo nativo em maior volume de solo (Keay et al., 1970; Kamprat & Watson, 1980; Gomide, 1989; Fageria, 1992; Corrêa & Haag, 1993a; Carvalho et al., 1994).

O teor de fósforo encontrado nas folhas por Martinez & Haag (1980) também foi superior ao dos colmos e bainhas. O teor de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ encontrado em folhas velhas de colonião por França & Haag (1985) e de $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ em folhas velhas de milho por França et al. (1987) foi inferior ao das médias do primeiro corte, $1,78 \text{ g kg}^{-1}$ e do segundo corte $1,71 \text{ g kg}^{-1}$. Meirelles et al. (1988) com colonião em Latossolo verificaram para folhas velhas, valores superiores $2,2 \text{ g kg}^{-1}$ a $2,7 \text{ g kg}^{-1}$ no primeiro corte e semelhantes $1,7 \text{ g kg}^{-1}$ a $1,9 \text{ g kg}^{-1}$ no segundo corte. O teor verificado por França & Haag (1985) em folhas novas de colonião, $2,1 \text{ g kg}^{-1}$, foi semelhante ao máximo obtido nos dois cortes, $2,19 \text{ g kg}^{-1}$ e $2,07 \text{ g kg}^{-1}$.

4.2.2 Teor de fósforo na matéria seca das hastes (PCB)

O teor de fósforo na matéria seca das hastes (PCB) no primeiro corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Foi obtida uma função de regressão linear, com coeficiente de determinação de 71,07%, evidenciando bom ajuste (Figura 1.b) e coeficiente de variação de 15,26% evidenciando baixa variabilidade. O teor médio de fósforo na matéria seca das hastes (PCB) no primeiro corte foi $1,47 \text{ g kg}^{-1}$ (Anexo A). O teor de fósforo ajustado variou de $1,19 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de 0 kg P ha^{-1} a $1,83 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de $349,20 \text{ kg P ha}^{-1}$ (Anexo D).

O teor de fósforo na matéria seca das hastes (PCB) no segundo corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Foi obtida uma função de regressão linear, com coeficiente de determinação de 51,24%, evidenciando ajuste médio (Figura 1.d) e coeficiente de variação de 26,63% evidenciando variabilidade ainda aceitável. O teor médio de fósforo na matéria seca das

hastes (PCB) no segundo corte foi $1,01 \text{ g kg}^{-1}$ (Anexo A). O teor de fósforo ajustado variou de $0,75 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de 0 kg P ha^{-1} a $1,34 \text{ g kg}^{-1}$ na dose de $349,20 \text{ kg P ha}^{-1}$ (Anexo D).

Os teores de fósforo nas hastes foram mais baixos no segundo corte quando houve maior produção de matéria seca e inferiores aos observados na matéria seca das lâminas foliares. O teor de fósforo na matéria seca das hastes, continuou aumentando, apesar da produção máxima de matéria seca já ter sido atingida na dose de $315,60 \text{ kg ha}^{-1}$ para o primeiro corte e $269,00 \text{ kg ha}^{-1}$ para o segundo corte (Anexo D), ou estar decrescendo após o máximo, caracterizando consumo de luxo (Werner & Haag, 1972; Christie, 1975). O teor de fósforo nas folhas foi superior ao encontrado nos colmos e bainhas, também relatado por Martinez & Haag (1980), no entanto Meirelles et al. (1988) verificaram teor mais elevado nos colmos que nas folhas.

4.2.3 Fósforo acumulado na matéria seca da parte aérea (PAC)

A quantidade de fósforo acumulada na matéria seca da parte aérea (PAC) no primeiro corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Foi obtida uma função de regressão de segundo grau, com coeficiente de determinação de 98,32%, evidenciando alto ajuste (Figura 2.a) e coeficiente de variação de 16,79% evidenciando baixa variabilidade. A quantidade média de fósforo acumulada na matéria seca da parte aérea (PAC) no primeiro corte foi $0,0146 \text{ g parcela}^{-1}$ (Anexo B). A quantidade de fósforo ajustada acumulada na matéria seca da parte aérea variou de $0,0016 \text{ g parcela}^{-1}$ na dose de 0 kg P ha^{-1} a $0,0251 \text{ g parcela}^{-1}$ na dose de $349,20 \text{ kg P ha}^{-1}$ (Anexo D).

A quantidade de fósforo acumulada na matéria seca da parte aérea (PAC) no segundo corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Foi obtida uma função de regressão de segundo grau, com coeficiente de determinação de 90,78%, evidenciando alto ajuste (Figura 2.b) e coeficiente de variação de 19,46% evidenciando baixa variabilidade. A quantidade média de fósforo acumulada na matéria seca da parte aérea (PAC) no segundo corte foi $0,0309$

Figura 2. Representação gráfica da quantidade de fósforo acumulado na matéria seca da parte aérea (PAC) e do teor de fósforo na matéria seca da parte aérea (PPA) das plantas de hemátria observados no primeiro e no segundo cortes, em relação às doses de fósforo dos tratamentos.

g parcela⁻¹ (Anexo C). A quantidade de fósforo ajustada acumulada na matéria seca da parte aérea variou de 0,0064 g parcela⁻¹ na dose de 0 kg P ha⁻¹ a 0,0503 g parcela⁻¹ na dose de 349,20 kg P ha⁻¹ (Anexo D).

As doses para o máximo estimado 361,66 e 354,14 kg ha⁻¹, encontram-se fora do intervalo estudado (Anexo D), o que permite concluir que as plantas poderiam acumular mais fósforo na matéria seca da parte aérea, mesmo com o limite de produção máxima já atingido, caso o intervalo de doses de fósforo aplicadas fosse ampliado. O fósforo acumulado em média 0,0309 g parcela⁻¹ no segundo corte foi o dobro do primeiro 0,0146 g parcela⁻¹, o que também aconteceu com a produção de matéria seca.

Como a planta estabelecida atinge melhor formação e distribuição do sistema radicular pode estabelecer associação com micorrizas aumentando o contato íon-raiz, principal mecanismo de absorção de fósforo, tendo assim maior capacidade de explorar o fósforo nativo e extrair maior quantidade de fósforo reduzindo a necessidade de fertilização fosfatada (Kamprat & Watson, 1980). O ponto de máximo acúmulo de fósforo 361,66 kg P ha⁻¹, foi além do de produção de matéria seca, 315,60 kg P ha⁻¹ no primeiro corte e o ponto de máximo acúmulo 354,14 kg P ha⁻¹ foi superior ao de produção de matéria seca 269,00 kg P ha⁻¹ também no segundo corte, evidenciando consumo de luxo pois como relataram Werner & Haag (1972) as plantas continuaram acumulando fósforo mesmo não aumentando a produção de matéria seca (Kamprat & Watson, 1980). A dose para o máximo acúmulo foi menor no segundo corte apesar do maior acúmulo de fósforo.

4.2.4 Teor de fósforo na matéria seca da parte aérea (PPA)

O teor de fósforo na matéria seca da parte aérea (PPA) no primeiro corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Foi obtida uma função de regressão de segundo grau, com coeficiente de determinação de 68,19%, evidenciando bom ajuste (Figura 2.c) e coeficiente de variação de 10,04% evidenciando baixa variabilidade. O teor médio de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PPA) no primeiro corte foi 1,64 g kg⁻¹ (Anexo B). O teor de fósforo

ajustado variou de 1,15 g kg⁻¹ na dose de 0 kg P ha⁻¹ a 1,98 g kg⁻¹ na dose de 263,23 kg P ha⁻¹ (Anexo D).

O teor de fósforo na matéria seca da parte aérea (PPA) no segundo corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Foi obtida uma função de regressão linear, com coeficiente de determinação de 49,89%, evidenciando ajuste médio (Figura 2.d) e coeficiente de variação de 19,62% evidenciando baixa variabilidade. O teor médio de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PPA) no primeiro corte foi 1,25 g kg⁻¹ (Anexo C). O teor de fósforo ajustado variou de 0,98 g kg⁻¹ na dose de 0 kg P ha⁻¹ a 1,61 g kg⁻¹ na dose de 349,20 kg P ha⁻¹ (Anexo D).

Os teores de fósforo na matéria seca da parte aérea das plantas de hemátria, foram inferiores no segundo corte, quando a produção de matéria seca foi mais elevada, evidenciando efeito de diluição, uma vez que o fósforo acumulado foi maior no segundo corte.

Reuter et al. (1988) registraram média de dados de laboratório de 3,3 g kg⁻¹ para forragens, enquanto Butler & Jones (1973) apontaram uma faixa de variação de 3 g kg⁻¹ a 4 g kg⁻¹ para o teor de fósforo em cereais e forragens. O teor de fósforo na matéria seca da parte aérea, sofreu significativo aumento com a adubação fosfatada (Wedin, 1974), porém ficou abaixo do teor relatado por Reuter et al. (1988) e por Butler & Jones (1973). A média reportada por Norton (1984) de 2,2 g kg⁻¹ para gramíneas forrageiras tropicais, a mais baixa entre forrageiras tropicais e temperadas, ainda é superior aos teores aqui observados, média de 1,64 g kg⁻¹ e 1,25 g kg⁻¹ no primeiro e segundo cortes.

Arroyo-Aguilú & Coward-Lord (1974) observaram entre várias espécies que a hemátria foi a que apresentou o mais baixo teor de fósforo, teor de 1,3 g kg⁻¹, em média dos 30 aos 180 dias de crescimento, compatível com as médias observadas neste trabalho. Peña et al. (1982) relataram teor de 2,5 g kg⁻¹ aos 42 dias de crescimento de hemátria a campo, superior aos teores máximos ajustados pelas equações. Oliveira (1987) também observou 1,3 g kg⁻¹ aos 30 dias de crescimento do cultivar Bigalta, com decréscimo posterior e Carvalho (1995) observou teor médio de 1,25 g kg⁻¹ a campo com

o cultivar PI-364863 (EMPASC-302), coincidente com o valor observado neste trabalho no segundo corte.

Tabela 7. Coeficiente de correlação (r) e respectivo nível de significância pelo teste t , para a variável matéria seca da parte aérea das plantas de hemártria (MS) com as variáveis teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF), teor de fósforo na matéria seca das hastes (colmos + bainhas) (PCB) e teor de fósforo na matéria seca da parte aérea das plantas de hemártria (PPA), no primeiro e segundo cortes.

Variável	MS	
	1º Corte	2º Corte
	(r)	
PLF	0,52821**	0,29118 ^{ns}
PCB	-0,05371 ^{ns}	-0,06655 ^{ns}
PPA	0,33592 ^{ns}	-0,02454 ^{ns}

** = Significativo pelo teste t a 1%, ($P < 0,01$).

ns = Não significativo pelo teste t a 5%, ($P > 0,05$).

4.2.5 Correlação entre produção de matéria seca e teor de fósforo

O estudo de correlação (Tabela 7) entre as variáveis produção de matéria seca (MS) e teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF) no primeiro corte evidenciou correlação positiva $r = 52,82\%$ e significativa a 1% de probabilidade ($P < 0,01$) pelo teste t . No segundo corte para o teor de fósforo nas lâminas foliares (PLF), e nos dois cortes para o teor de fósforo nas hastes (PCB) e na parte aérea (PPA), não houve correlação significativa a 5% de probabilidade ($P > 0,05$) com a produção de matéria seca (MS). O fato de haver correlação positiva e significativa entre as duas variáveis significa que há uma correspondência entre teor de fósforo na matéria seca das lâminas das folhas e produção de matéria seca para a fase de implantação da hemártria. Andrew & Robins (1971) encontraram correlação positiva entre teor de fósforo e produção de matéria seca em gramíneas tropicais em experimento de casa de vegetação.

De acordo com o que registrou Fageria (1992) o fósforo por ser um elemento com alta mobilidade na planta e redistribuído através do floema, com o que concordam Robson & Snowball (1988) e Marschner (1995), deve ser diagnosticado nas folhas e partes velhas da planta. No entanto, Meirelles et al. (1988) relataram correlação positiva entre teor de fósforo e produção de matéria seca em folhas novas de colônia, que foram indicadas para diagnose nutricional.

4.2.6 Nível crítico de fósforo

Através das equações de regressão obtidas foi estimado o nível crítico de fósforo para 90% da produção máxima de matéria seca (MS). A dose de fósforo estimada para o nível crítico no primeiro corte foi de 210,93 kg P ha⁻¹ e para o segundo corte 176,79 kg P ha⁻¹. O teor de fósforo estimado na matéria seca das lâminas foliares (PLF) no primeiro corte foi 2,18 g kg⁻¹ e no segundo corte 2,00 g kg⁻¹. O teor de fósforo estimado na matéria seca dos colmos e bainhas (PCB) no primeiro corte foi de 1,58 g kg⁻¹ e no segundo corte de 1,05 g kg⁻¹. O teor de fósforo estimado na matéria seca da parte aérea (PPA), no primeiro corte foi 1,94 g kg⁻¹ e no segundo corte 1,30 g kg⁻¹, para 90% da produção máxima de matéria seca (Tabela 8).

A dose necessária estimada para atingir a produção máxima de matéria seca foi 315,60 kg P ha⁻¹ no primeiro e 269,00 kg P ha⁻¹ no segundo corte. No primeiro corte a dose necessária para atingir o nível crítico a 90% da produção máxima (210,93 kg P ha⁻¹), foi 33,16% menor que a dose necessária para atingir a produção máxima (315,60 kg P ha⁻¹). No segundo corte a dose necessária para atingir o nível crítico a 90% da produção máxima (176,79 kg P ha⁻¹), foi 34,27% menor que a dose necessária para atingir a produção máxima (269,00 kg P ha⁻¹). Em ambos os casos a redução na produção de matéria seca foi de 10%. Na produção máxima a diferença entre a dose do primeiro corte (315,00 kg P ha⁻¹) para a do segundo corte (269,00 kg P ha⁻¹) foi de 14,76%. No nível crítico a 90% da produção máxima, a diferença entre a dose do primeiro corte (210,93 kg P ha⁻¹) para a do segundo corte (176,79 kg P ha⁻¹) aumentou para 16,18%.

Tabela 8. Valores estimados para as variáveis produção de matéria seca (MS), teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF), teor de fósforo na matéria seca de colmos e bainhas (PCB), teor de fósforo na matéria seca da parte aérea das plantas (PPA), fósforo acumulado na matéria seca da parte aérea (PAC), número de perfilhos por parcela (NP), relação da matéria seca das lâminas foliares com a matéria seca das hastes (L/H) e produção de matéria seca das raízes (MSR) das plantas de hemítria, conforme o corte e a dose de fósforo estimada a partir das respectivas equações de regressão para o nível crítico a 90% de produção máxima de matéria seca.

DOSE P (kg ha ⁻¹)	MS (g parcela ⁻¹)	PLF (g kg ⁻¹)	PCB (g kg ⁻¹)	PPA (g kg ⁻¹)	PAC (g parcela ⁻¹)	L/H	NP	MSR (g parcela ⁻¹)
CORTE 1								
210,93	11,84	2,18	1,58	1,94	0,0210	0,96	86,90	-
CORTE 2								
176,79	30,87	2,00	1,05	1,30	0,0392	0,55	141,03	15,86

O teor de fósforo nas lâminas foliares (PLF), no primeiro corte apresentou correlação positiva e significativa ao nível de 1% de significância ($P < 0,01$) com a produção de matéria seca (MS), de modo que as amostras a serem utilizadas para diagnóstico nutricional de fósforo na hemátria, na fase de estabelecimento devem provir das lâminas foliares. Segundo (Bates, 1971) os resultados obtidos em casa de vegetação são confiáveis para utilização em condições de campo.

O nível crítico de fósforo estimado na matéria seca da parte aérea das plantas de hemátria (PPA) por ocasião do primeiro corte, $1,94 \text{ g kg}^{-1}$, enquadra-se na faixa considerada adequada para o tifton (*Cynodon*) e do segundo corte $1,3 \text{ g kg}^{-1}$, na faixa adequada para *B. brizantha* e *B. decumbens* (Raij et al., 1996). Confrontando com Smith (1988) em trabalho de revisão, o nível crítico de fósforo para gramíneas estava na faixa de $1,6$ a $2,5 \text{ g kg}^{-1}$, o teor estimado no segundo corte foi inferior, estando o do primeiro corte dentro desta faixa. O teor de fósforo encontrado por Palhano & Haddad (1992) para Coast-cross nº 1 a campo para 90% da produção máxima de matéria seca foi de $1,9 \text{ g kg}^{-1}$. Corrêa & Haag (1993a) determinaram $1,2 \text{ g kg}^{-1}$ para braquiária decumbens, $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ para braquiária brizantha e $1,5 \text{ g kg}^{-1}$ para colômbia em casa de vegetação, tendo sido superior o teor encontrado na hemátria no primeiro corte e no segundo corte superior somente ao da braquiária decumbens. A dose encontrada por Costa et al. (1996) para paspalum em casa de vegetação foi de $267,5 \text{ kg P ha}^{-1}$ e o nível crítico correspondente $1,5 \text{ g kg}^{-1}$, foi inferior ao do primeiro corte e superior ao do segundo corte para a hemátria nas mesmas condições.

4.3 Variáveis de produção

Foram determinadas a produção de matéria seca (MS), o número de perfilhos (NP), a relação folha:haste (L/H) e a produção de matéria seca das raízes (MSR).

Figura 3. Aspecto da parte aérea conforme as doses crescentes de fósforo.

Figura 4. Aspecto das raízes, conforme as doses crescentes de fósforo. H = hemátria; 0, 100, 200, 400, 600 e 800 kg P_2O_5 ha⁻¹ (Tabela 2).

4.3.1 Produção de matéria seca da parte aérea (MS)

A produção de matéria seca da parte aérea (MS) no primeiro corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P<0,01$). Foi obtida uma função de regressão de segundo grau, com coeficiente de determinação de 98,62%, evidenciando alto ajuste (Figura 5.a) e coeficiente de variação de 19,83% evidenciando baixa variabilidade. A produção média de matéria seca da parte aérea (MS) no primeiro corte foi 8,16 g parcela⁻¹ (Anexo B). A produção de matéria seca ajustada variou de 1,20 g parcela⁻¹ na dose de 0 kg P ha⁻¹ a 13,16 g parcela⁻¹ na dose de 315,59 kg P ha⁻¹ (Anexo D).

A produção de matéria seca da parte aérea (MS) no segundo corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P<0,01$). Foi obtida uma função de regressão de segundo grau, com coeficiente de determinação de 95,84%, evidenciando alto ajuste (Figura 5.b) e coeficiente de variação de 21,50% evidenciando variabilidade aceitável. A produção de matéria seca da parte aérea (MS) no primeiro corte foi 22,76 g parcela⁻¹ (Anexo C). A produção de matéria seca ajustada variou de 5,11 g parcela⁻¹ na dose de 0 kg P ha⁻¹ a 34,30 g parcela⁻¹ na dose de 269,00 kg P ha⁻¹ (Anexo D).

A produção máxima de matéria seca destacou-se no segundo corte sendo de 2,6 vezes a do primeiro corte. Ficou evidente, haja vista a resposta significativa a 1% de probabilidade aos níveis de fósforo aplicados, que a disponibilidade natural de fósforo neste solo foi limitante à produção de matéria seca das plantas de hemártria. A exigência de fósforo na fase inicial, de estabelecimento, das plantas de hemártria foi maior do que a das plantas estabelecidas, segundo corte, para a produção máxima de matéria seca confirmando a importância da disponibilidade de fósforo para a fase de estabelecimento das forrageiras (Monteiro & Werner, 1977).

Há inúmeros exemplos na literatura correlata de observações em que o baixo teor de fósforo disponível foi confirmado ser o fator mais limitante para a produção de matéria seca Blunt & Humphreys (1970) em setária, Werner & Mattos (1972) em capim gordura. Outros registraram que o efeito de seu suprimento adequado foi

Figura 5. Representação gráfica da produção de matéria seca (MS) e do número de perfilhos (NP) das plantas de hemátria observados no primeiro e no segundo cortes, em relação às doses de fósforo dos tratamentos.

significativo na produção de matéria seca das plantas, Saraiva & Carvalho (1991) em capim elefante, Werner & Haag (1972) em colômbio, jaraguá, napier e em gordura, França et al. (1987) em colômbio, Haag et al. (1967) em colômbio, gordura, napier e em pangola, Meirelles et al. (1988) em colômbio, Mesa et al. (1989) em *Brachiaria purpurascens*, Palhano & Haddad (1992) em Coast Cross Nº 1, Monteiro et al. (1995) em brizantão e Costa et al. (1996) em *Paspalum atratum*.

4.3.2 Produção de perfilhos (NP)

O número de perfilhos por vaso (NP) no primeiro corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Foi obtida uma função de regressão de segundo grau, com coeficiente de determinação de 96,29%, evidenciando alto ajuste (Figura 5.c) e coeficiente de variação de 13,16% evidenciando baixa variabilidade. O número médio de perfilhos por vaso (NP) no primeiro corte foi 65,96 perfilhos parcela⁻¹ (Anexo B). O número de perfilhos por vaso ajustado variou de 31,32 perfilhos parcela⁻¹ na dose de 0 kg P ha⁻¹ a 88,35 perfilhos parcela⁻¹ na dose de 251,12 kg P ha⁻¹ (Anexo D).

O número de perfilhos por vaso (NP) no segundo corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Foi obtida uma função de regressão de segundo grau, com coeficiente de determinação de 86,48%, evidenciando alto ajuste (Figura 5.d) e coeficiente de variação de 10,23% evidenciando baixa variabilidade. O número médio de perfilhos por vaso (NP) no segundo corte foi 107,59 perfilhos parcela⁻¹ (Anexo C). O número de perfilhos por vaso ajustado variou de 48,28 perfilhos parcela⁻¹ na dose de 0 kg P ha⁻¹ a 146,62 perfilhos parcela⁻¹ na dose de 232,16 kg P ha⁻¹ (Anexo D).

Portanto após a planta estabelecida a necessidade de fósforo foi menor para obter a máxima emissão de perfilhos 88,35 e 146,62, no primeiro e segundo cortes, um fator importante para a produção de matéria seca das plantas forrageiras. O perfilhamento das plantas de hemátia foi limitado significativamente pela disponibilidade natural de fósforo neste solo (Figura 3). Também foi reportada por Werner & Haag

(1972) a redução do número de perfilhos e também de folhas vivas por perfilho, por França & Haag (1985) proporção 20,7 vezes maior no número de perfilhos em condições de suprimento adequado de fósforo contra a omissão em capim colônia em solução nutritiva. França et al. (1987), Meirelles et al. (1988), Corrêa & Haag (1993a) e Monteiro et al. (1995) também observaram efeito significativo dos níveis de fósforo aplicados, sobre o perfilhamento em forrageiras.

Tabela 9. Coeficiente de correlação (r) e respectivo nível de significância pelo teste t , para a variável número de perfilhos por parcela das plantas de hemátria (NP), com as variáveis teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF), teor de fósforo na matéria seca das hastes (colmos + bainhas) (PCB) e teor de fósforo na matéria seca da parte aérea (PPA) das plantas de hemátria, no primeiro e segundo cortes.

Variável	NP	
	1º Corte	2º Corte
	(r)	
PLF	0,50185**	0,53765**
PCB	0,03371 ^{ns}	0,26634 ^{ns}
PPA	0,30611*	0,37889*

** = Significativo pelo teste t a 1%, ($P < 0,01$).

* = Significativo pelo teste t a 5%, ($P < 0,05$).

ns = Não significativo pelo teste t a 5%, ($P > 0,05$).

Quando o estudo de correlação foi aplicado à variável número de perfilhos (NP), houve correlação positiva e significativa a 1% de probabilidade ($P < 0,01$) pelo teste t , com a variável teor de fósforo na matéria seca das lâminas foliares (PLF) respectivamente $r=50,185\%$ e $r=53,765\%$ no primeiro e no segundo cortes (Tabela 9). Também houve correlação significativa a 5% de probabilidade ($P < 0,05$) com a variável teor de fósforo na matéria seca da parte aérea (PPA), respectivamente $r=38,611\%$ e $r=37,889\%$ no primeiro e no segundo cortes.

4.3.3 Relação lâmina:haste (L/H)

A relação lâmina:haste (L/H) no primeiro corte sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Foi obtida uma função de regressão de segundo grau, decrescente, com coeficiente de determinação de 89,20%, evidenciando alto ajuste (Figura 6.a) e coeficiente de variação de 7,76% (dados transformados $1/\sqrt{x}$) evidenciando alta variabilidade. A relação lâmina:haste (L/H) média no primeiro corte foi 1,72 (Anexo B). A relação lâmina:haste ajustada variou de 3,04 na dose de 0 kg P ha⁻¹ a 0,86 na dose de 268,31 kg P ha⁻¹ no ponto de mínimo (Anexo D).

A relação lâmina:haste (L/H) no segundo corte não sofreu influência significativa ao nível de 5% de probabilidade ($P > 0,05$) das doses de fósforo dos tratamentos. O valor médio da relação L/H foi de 0,54 (Anexo C).

Conforme aumentou-se a dose de fósforo aumentou a matéria seca produzida nas hastes em relação à das lâminas foliares, pois a alongação dos colmos é estimulada pelo fósforo (França et al., 1987). Carvalho (1995) relatou relação L/H variando de 0,76 a 5,34 com média de 2,36 em trabalho de campo, mais ampla que a observada no primeiro corte neste trabalho, 0,86 a 3,04, para o mesmo cultivar. Quando houve limitação de crescimento causada por fatores climáticos a relação L/H aumentou (Carvalho, 1995), como na limitação ao crescimento causada pelas doses mais baixas de fósforo no presente trabalho.

Sendo o índice de digestibilidade da matéria seca das hastes normalmente inferior ao da matéria seca das lâminas foliares, doses mais altas de fósforo e outros nutrientes, provocariam produção de matéria seca com menor índice de digestibilidade, pelo aumento da proporção de colmos. Esta situação demanda maior atenção ao intervalo entre pastejos ao manejar pastagens adubadas. O crescimento é retardado quando há alguma deficiência ou outra limitação e, torna-se mais rápido em pastagens adubadas, sem limitações nutricionais avançando em idade fisiológica (Bates, 1971), quando a condição climática é favorável, especialmente nas espécies perenes de clima tropical de

(6.a) L/H Corte 1

(6.b) L/H Corte 2

(6.c) MSR

Figura 6. Representação gráfica da relação matéria seca lâmina/haste (L/H) no primeiro e segundo cortes e produção de matéria seca das raízes (MSR) das plantas de hemáfria, em relação às doses de fósforo dos tratamentos.

fisiologia C_4 , com alta capacidade de crescimento (Mays et al., 1980).

4.3.4 Produção de matéria seca das raízes (MSR)

A produção de matéria seca de raízes (MSR) sofreu influência significativa das doses de fósforo dos tratamentos a 1% de probabilidade ($P < 0,01$). Foi obtida uma função de regressão de segundo grau, com coeficiente de determinação de 81,39%, evidenciando alto ajuste (Figura 5.c) e coeficiente de variação de 17,50% (dados transformados $\sqrt{x}$) evidenciando alta variabilidade. A produção média de matéria seca de raízes (MSR) foi $11,46 \text{ g parcela}^{-1}$ (Anexo C). A produção de matéria seca de raízes ajustada variou de $3,88 \text{ g parcela}^{-1}$ na dose de 0 kg P ha^{-1} a $16,47 \text{ g parcela}^{-1}$ na dose de $226,77 \text{ kg P ha}^{-1}$ (Anexo D).

O efeito da disponibilidade adequada de fósforo para as plantas forrageiras sobre o desenvolvimento do sistema radicular, foi também relatado por Werner & Haag (1972), França et al. (1987) e por Monteiro et al. (1995). O desenvolvimento radicular (Figura 4), ao lado do perfilhamento e da elongação dos colmos, estimulados pela adequada nutrição fosfatada, fazem com que a planta tenha implantação rápida, tornando o estabelecimento das forrageiras facilitado pela maior capacidade de competição com as invasoras, maior proteção do solo contra a erosão evitando perda de fertilidade, e tomando menor período de tempo até o início de sua utilização, revertendo em maior produção com melhor qualidade e maior persistência da pastagem. A produção de matéria seca das raízes atingiu o máximo com dose de fósforo mais baixa, $226,77 \text{ kg P ha}^{-1}$ do que a da produção máxima de matéria seca da parte aérea, $269,00 \text{ kg P ha}^{-1}$ no segundo corte (Anexo D).

4.4 Sintomas de deficiência de fósforo em plantas de hemártria

Na dose 0 kg P ha⁻¹ foram observados sintomas de deficiência de fósforo nas plantas de hemártria, como folhas mais curtas, ásperas, com as pontas das mais novas e as mais velhas completamente secas em proporção alta, denotando senescência precoce. Folhas com coloração verde esmaecido tendendo para amareladas. Folhas mais curtas e eretas, em talos bem curtos. Em algumas folhas mais velhas foi observada coloração levemente arroxeadada e roxa nos talos (Figura 7), causada pelo acúmulo de antocianina (Marschner, 1995), conforme descrito por Werner & Haag (1972). O número de perfilhos das plantas de hemártria foi limitado e os perfilhos eram pequenos. Nos níveis mais baixos de fósforo, especialmente na dose zero, as raízes eram longas mas com menor número de ramificações e mais escuras (Figura 4).

Figura 7. Aspecto das plantas com deficiência de fósforo, na dose zero.

Nestas condições foram observados teores mais baixos de fósforo nas lâminas foliares ($P<0,01$) e nas hastes ($P<0,01$) e por conseguinte na parte aérea toda ($P<0,01$), no primeiro e segundo cortes. Houve menor quantidade de fósforo acumulado ($P<0,01$) em consequência do menor teor e da menor produção de matéria seca da parte aérea ($P<0,01$) nos dois cortes. O perfilhamento foi reduzido ($P<0,01$) ao número mais baixo nos dois cortes. Também foi menor ($P<0,01$) a produção de matéria seca do sistema radicular (Anexo B e Anexo C).

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- O fósforo do solo é limitante à produção de matéria seca da parte aérea e das raízes, provocando sintomas de deficiência de fósforo nas plantas de hemátria.
- O aumento de fósforo no solo proporciona aumento do número de perfilhos, da produção de matéria seca da parte aérea e da produção de matéria seca das raízes das plantas de hemátria.
- O aumento de fósforo no solo, provoca aumento no teor de fósforo da matéria seca da parte aérea e na quantidade de fósforo acumulado na matéria seca da parte aérea das plantas de hemátria.
- O teor de fósforo na matéria seca das lâminas das folhas deve ser utilizado para diagnosticar o estado nutricional no período de estabelecimento da hemátria.
- O nível crítico de fósforo obtido na matéria seca das lâminas foliares, para o primeiro corte, foi de $2,18 \text{ g kg}^{-1}$, na dose de $210,93 \text{ kg P ha}^{-1}$.

ANEXOS

Anexo A. Médias observadas, teste F, análise da variância e de regressão, para as variáveis teor de fósforo (PLF) na matéria seca das lâminas foliares e teor de fósforo (PCB) na matéria seca das hastes (colmos + bainhas) das plantas de hemártria, no primeiro corte e para as variáveis teor de fósforo (PLF), na matéria seca das lâminas foliares e teor de fósforo (PCB) na matéria seca das hastes (colmos + bainhas) das plantas de hemártria no segundo corte em função das doses de fósforo.

DOSE P	PLF	PCB	PLF	PCB
PRIMEIRO CORTE			SEGUNDO CORTE	
kg ha ⁻¹			g kg ⁻¹	
0,00	0,86	0,96	0,98	0,52
43,65	1,80	1,50	1,50	0,92
87,30	1,96	1,46	2,06	1,26
174,60	1,94	1,44	1,74	0,82
261,90	2,04	1,64	2,02	1,16
349,20	2,12	1,84	2,00	1,38
C.V.	G.L.			
Blocos	4	4	4	4
Dose P	5	5	5	5
Resíduo	20	20	20	20
Total	29	29	29	29
C.V.	Q.M.			
Blocos	0,0195	0,0122	0,0383	0,0322
Dose P	1,0877	0,4277	0,8803	0,5062
Resíduo	0,0189	0,0506	0,0343	0,0724
Teste F	**	**	**	**
CV%	7,69	15,26	10,79	26,63
R. L.	**	**	**	**
R. Q.	**	ns	**	ns
Média G.	1,78	1,47	1,71	1,01

** = Significativo pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$).

ns = Não significativo pelo teste F, considerando como nível mínimo de significância de 5% ($P > 0,05$).

Anexo B. Médias observadas, teste F, análise da variância e de regressão, para as variáveis produção de matéria seca (MS), teor de fósforo na matéria seca da parte aérea das plantas (PPA), fósforo acumulado na matéria seca da parte aérea (PAC), número de perfilhos por parcela (NP), relação da matéria seca das lâminas foliares com a matéria seca das hastes (colmos + bainhas) (L/H), das plantas de hemártria, no primeiro corte em função das doses de fósforo dos tratamentos.

DOSE P	MS	PPA	PAC	L/H	NP
(kg ha ⁻¹)	(g parcela ⁻¹)	(g kg ⁻¹)	(g parcela ⁻¹)	MS (L/C+B)	(nº parcela ⁻¹)
0,00	0,96	0,88	0,0008	3,050	26,0
43,65	3,98	1,72	0,0068	2,714	56,2
87,30	7,97	1,74	0,0138	1,314	65,2
174,60	10,27	1,72	0,0174	1,276	82,0
261,90	12,58	1,86	0,0234	1,018	84,6
349,20	13,22	1,97	0,0258	0,966	81,8
C.V.	G.L.				
Blocos	4	4	4	4	4
Dose P	5	5	5	5	5
Resíduo	20	20	20	20	20
Total	29	29	29	29	29
C.V.	Q.M.				
Blocos	5,4329	0,0049	0,00002	0,009136	130,2833
Dose P	118,9215	0,7552	0,00046	0,1791557 ⁽¹⁾	2548,2733
Resíduo	2,6199	0,0274	0,000006	0,0041665	75,4233
Teste F	**	**	**	**	**
CV%	19,83	10,04	16,79	7,76	13,16
Reg. L.	**	**	**	**	**
Reg. Q.	**	**	**	**	**
Média Geral	8,16	1,64	0,0146	1,72	65,96

** = Significativo pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade (P<0,01).

⁽¹⁾ Dados transformados: $L/H = 1 / \sqrt{x}$.

Anexo C. Médias observadas, teste F, análise da variância e de regressão, para as variáveis produção de matéria seca (MS), teor de fósforo na matéria seca da parte aérea das plantas (PPA), fósforo acumulado na matéria seca da parte aérea (PAC), número de perfilhos por parcela (NP), relação da matéria seca das lâminas foliares com a matéria seca das hastes (L/H), produção de matéria seca das raízes (MSR) das plantas de hemátria, no segundo corte em função das doses de fósforo dos tratamentos.

DOSE P (kg ha ⁻¹)	MS (g parcela ⁻¹)	PPA (g kg ⁻¹)	PAC (g parcela ⁻¹)	L/H MS(L/C+B)	NP (nº parcela ⁻¹)	MSR (g parcela ⁻¹)
0,00	2,17	0,68	0,0015	0,558	30,8	3,288
43,65	16,68	1,13	0,0188	0,582	98,2	9,706
87,30	23,12	1,56	0,0343	0,598	121,2	9,764
174,60	29,39	1,13	0,0322	0,540	135,0	18,846
261,90	32,22	1,44	0,0465	0,508	130,0	13,202
349,20	33,01	1,58	0,0524	0,484	130,4	13,802
C.V.			G.L.			
Blocos	4	4	4	4	4	4
Dose P	5	5	5	5	5	5
Resíduo	20	20	20	20	20	20
Total	29	29	29	29	29	29
C.V.			Q.M.			
Blocos	30,3097	0,0107	0,00009	0,0430	87,7167	0,0328
Dose P	699,6073	0,5905	0,00174	0,0095	7943,92	3,8046 ⁽⁷⁾
Resíduo	23,9736	0,0606	0,00004	0,0382	121,3367	0,3243
Teste F	**	**	**	ns	**	**
CV%	21,50	19,62	19,46	35,85	10,23	17,50
Reg. L.	**	**	**	ns	**	**
Reg. Q.	**	ns	**	ns	**	**
Média Geral	22,76	1,25	0,0309	0,54	107,59	11,43

** = Significativo pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade (P<0,01).

ns = Não significativo pelo teste F, considerando como nível mínimo de significância de 5% (P>0,05).

⁽⁷⁾ Dados transformados: MSR (C2) = $\sqrt{x}$.

Anexo D. Equações de regressão polinomial ajustadas em função das doses de fósforo para as variáveis produção de matéria seca da parte aérea (MS), teor de fósforo (PLF) na matéria seca das lâminas foliares, teor de fósforo (PCB) na matéria seca das hastes (colmos + bainhas), teor de fósforo na matéria seca da parte aérea (PPA), fósforo acumulado na matéria seca da parte aérea (PAC), número de perfilhos por parcela (NP), relação entre a matéria seca das lâminas foliares com a matéria seca das hastes (L/H), para o primeiro e segundo cortes, produção de matéria seca das raízes (MSR) das plantas de hemártria para o segundo corte, coeficientes de determinação (R^2) com respectivo nível de significância e ponto de máximo (X) ou de mínimo para o intervalo de validade $[0 \leq x \leq 349,20]$ das equações.

Variável	Equação ajustada	R^2 %	Máximo (X)
PRIMEIRO CORTE			
MS	$\hat{Y} = 1,195837 + 0,0758069X - 0,0001201X^2$	98,62**	315,60
PLF	$\hat{Y} = 1,154718 + 0,0084808X - 0,00001727X^2$	73,91**	245,54
PCB	$\hat{Y} = 1,193333 + 0,0018328X$	71,07**	-
PPA	$\hat{Y} = 1,155727 + 0,0061806X - 0,00001174X^2$	68,19**	263,23
PAC	$\hat{Y} = 0,001569 + 0,0001302X - 0,00000018X^2$	98,32**	361,66
NP	$\hat{Y} = 31,3205 + 0,4542626X - 0,00090448X^2$	96,29**	251,12
L/H	$\hat{Y} = 3,040975 - 0,0162384X + 0,00003026X^2$	89,20**	268,31 ^m
SEGUNDO CORTE			
MS	$\hat{Y} = 5,111977 + 0,2170118X - 0,00040336X^2$	95,84**	269,00
PLF	$\hat{Y} = 1,157127 + 0,0074057X - 0,00001488X^2$	72,23**	248,85
PCB	$\hat{Y} = 0,751368 + 0,0016929X$	51,24**	-
PPA	$\hat{Y} = 0,978681 + 0,0018043X$	49,89**	-
PAC	$\hat{Y} = 0,006386 + 0,0002479X - 0,00000035X^2$	90,78**	354,14
NP	$\hat{Y} = 48,275753 + 0,8472442X - 0,00182473X^2$	86,48**	232,16
L/H	$\hat{Y} = 0,545$ (Média Geral)	ns	-
MSR	$\hat{Y} = 3,879765 + 0,1110121X - 0,00024477X^2$	81,39**	226,77

** = Significativo pelo teste F, ao nível de 1% de probabilidade ($P < 0,01$).

ns = Não significativo pelo teste F, considerando como nível mínimo de significância de 5% ($P > 0,05$).

^m = Ponto de mínimo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, F. Interactions of phosphorus with other elements in soils and in plants. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed.) **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. 910p. cap.23, p.655-680.
- ANDRADE, A.G.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D.; SARRUGE, J.R. Acumulação diferencial de nutrientes por cinco cultivares de milho (*Zea mays* L.). II - Acumulação de micronutrientes. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.32, p.151-171, 1975.
- ANDREW, C.S.; ROBINS, M.F. The effect of phosphorus on the growth, chemical composition, and critical phosphorus percentages of some tropical pasture grasses. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.22, n.5, p.693-706, 1971.
- ARROYO-AGUILÚ, J.A.; COWARD-LORD, J. Mineral composition of 10 tropical forage grasses in Puerto Rico. **The Journal of Agriculture of the University of Puerto Rico**, v.58, n.4, p.426-436, 1974.
- BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B. van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise de solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.13, p.205-212, 1989.
- BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. **Soil Science**, v.112, n.2, p.116-130, 1971.
- BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants**: development, visual and analytical diagnosis. Jena: Gustav Fisher Verlag Jena, 1992. 741p.
- BLUNT, C.G.; HUMPHREYS, L.R. Phosphate response of mixed swards at Mt. Cotton, south-eastern Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v.10, n.42, p.431-441, 1970.
- 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.

- CARVALHO, D.D. de Produção e qualidade de sete acessos de *Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf et C. E. Hubb., em Pindamonhangaba, SP. Botucatu, 1995. 101p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.
- CARVALHO, M.M.; FREITAS, V.P.; CRUZ FILHO, A.B. Requerimento de fósforo para o estabelecimento de duas gramíneas tropicais em um solo ácido. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.2, p.199-209, 1994.
- CATE Jr., R.B.; NELSON, L.A. **A rapid method for correlation of soil test analyses with plant response data**. Raleigh: North Carolina State University Agricultural Experiment Station, 1985. 24p. (International Soil Testing Series Technical Bulletin, 1).
- CATHCART, J.B. World phosphate reserves and resources. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed.) **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. cap.1, p.1-18.
- CHRISTIE, E.K. A study of phosphorus nutrition and water supply on the early growth and survival of buffel grass grown on sandy red earth from south-west Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v.15, p.239-249, 1975.
- CORRÊA, L.A.; HAAG, H.P. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras em Latossolo Vermelho Amarelo, álico: I. Ensaio em casa de vegetação. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.50, n.1, p.99-108, 1993a.
- CORRÊA, L.A.; HAAG, H.P. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras em Latossolo Vermelho Amarelo, álico: II. Experimento de campo. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.50, n.1, p.109-116, 1993b.
- COSTA, G.G.; MONERATT, P.H.; GOMIDE, J.A. Efeito de doses de fósforo sobre o crescimento e teor de fósforo de capim-jaraguá e capim-colonião. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.12, n.1, p.1-10, 1983.
- COSTA, N.L.; PAULINO, V.T.; SCHUNKE, R. Resposta de *Paspalum atratum* BRA-009610 à adubação fosfatada. (compact disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 7., Águas de Lindóia, 1996. Solo-Suelo 96: trabalhos. Piracicaba: SBSC/SLCS, 1996.
- FAGERIA, N.K. **Maximizing crop yields**. New York: Marcel Dekker, 1992. 247p.

- FALADE, J.A. The effect of phosphorus on growth and mineral composition of five tropical grasses. **East African Agriculture Forestry Journal**, v.40, n.4, p.342-350, 1975.
- FONSECA, D.M.; ALVAREZ, V.H.; NEVES, J.C.L.; GOMIDE, J.A.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de *Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* e *Hyparrhenia rufa*. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.12, n.1, p.49-58, 1988.
- FRANÇA, A.F.S.; HAAG, H.P. Nutrição mineral de gramíneas tropicais. I. Carências nutricionais do capim 'Tobiatã' (*Panicum maximum*, Jacq.). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.42, p.83-95, 1985.
- FRANÇA, A.F.S.; HAAG, H.P.; CARMELLO, Q.A.C. Nutrição mineral de gramíneas tropicais. III. Deficiências de macronutrientes na produção de matéria seca e na composição mineral do milheto forrageiro (*Pennisetum americanum*). **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.44, p.435-452, 1987.
- FREUND, R.J.; LITTELL, R.C. **SAS for linear models: a guide to the ANOVA and GLM procedures**. Cary: SAS Institute, 1981. 231p.
- GOMIDE, J.A. Phosphorus requirement for establishment of tropical forage grasses and legumes. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 16., Nice, 1985. **Proceedings**. Nice. Asociacion Française par la Production Forragere. 1989. v.1, p.99-100.
- HAAG, H.P.; BOSE, M.L.V.; ANDRADE R.G. Absorção dos macronutrientes pelos capins colônia, jaraguá, napier e pangola. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.24, p.177-188, 1967.
- JOHANSEN, C. Concentrations of nutrients elements in parts of siratro as affected by phosphorus supply and plant age. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.7, n.6, p.527-545, 1976.
- JONES Jr., J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide**. Athens: Micro Macro, 1991. 213p.
- JONES, J.B. Interpretation of plant analysis for several agronomic crops. In: **Soil Testing and plant analysis**. Part 1. Madison: Soil Science Society of America, 1967. p.49-58. (SSSA Special Publication Series, 2.)
- KAMPRAT, E.J.; WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed.) **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. 910p. cap.16, p.433-464.

- KEAY, J.; BIDDISCOMBE, E.F.; OZANNE, P.G. The comparative rates of phosphate absorption by eight annual pasture species. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.21, n.1, p.33-44, 1970.
- LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**, v.19, p.151-210, 1967.
- LÄUCHLI, A.; BIELESKI, R.L. **Inorganic plant nutrition**. Berlin: Springer-Verlag, 1983. 870p. (Encyclopedia of Plant Physiology New Series, 15A).
- LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFÓS, 1989. 153p.
- LUNT, O.R.; BRANSON, R.L.; CLARK, S.B. Response of five grass species to phosphorus on six soils. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 9, São Paulo, 1965. **Proceedings**. São Paulo: Departamento da Produção Animal da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1967. v.2, p. 1697.
- MACY, P. The quantitative mineral nutrient requirements of plants. **Plant Physiology**, v.11, p.749-764, 1936.
- MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e de folhas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1992. 124p
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. San Diego: Academic Press, 1995. cap.8, p.229-299: Functions of mineral nutrients: macronutrients.
- MARTIN, M.E.; MATOCHA, J.E. Plant analysis as an aid in the fertilization of the forage crops. In: WALSH, L.M.; BEATON, J.D. (Ed.) **Soil testing and plant analysis**. Madison: Soil Science Society of America, 1973. cap.24, p.393-426.
- MARTINEZ, H.E.P.; HAAG, H.P. Níveis críticos de fósforo em *Brachiaria decumbens* (Stapf) Prain, *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickhardt, *Digitaria decumbens* Stent, *Hypharrhenia rufa* (Ness.) Stapf, *Melinis minutiflora* Pal de Beauv., *Panicum maximum* Jacq. e *Pennisetum purpureum* Schum. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.27, p.913-977, 1980.
- MAYS, D.A.; WILKINSON, S.R.; C.L.E, C.V. Phosphorus nutrition of forages. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed.) **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. 910p. cap.28, p.805-846.
- MEIRELLES, N.M.F.; WERNER, J.C.; ABRAMIDES, P.L.G.; CARRIEL, J.M.; PAULINO, V.T.; COLOZZA, M.T. Nível crítico de fósforo em capim-colonião 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.

- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Bern: International Potash Institute, 1987. cap.9: Phosphorus, p.403-426.
- MESA, A.R.; HERNÁNDEZ, M.; REYES, F. AVILA, V. Rendimiento de materia seca, composição química y niveles críticos de N, P y K en *Brachiaria*. **Pastos y Forrajes**, v.12, n.2, p.155-161, 1989.
- MONTEIRO, F.A.; RAMOS, A.K.B.; CARVALHO, D.D.; ABREU, J.B.R.; DAIUB, J.A.S.; SILVA, J.E.P.; NATALE, W. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissão de macronutrientes. **Scientia Agricola**, v.52, n.1, p.135-141, 1995.
- MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C. Efeitos das adubações nitrogenada e fosfatada em capim colômbio na formação e em pasto estabelecido. **Boletim de Indústria Animal**, v.34, n.1, p.91-101, 1977.
- NASCIMENTO JÚNIOR, D.; SILVA, J.F.C.; PINHEIRO, J. S. Teores de alguns minerais no capim jaraguá (*Hyparrhenia rufa* [Ness] Stapf.), em várias idades de corte. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.5, n.1, p.49-55, 1976.
- NORTON, B.W. Differences between species in forage quality. In: HACKER, J.B. (Ed.) **Nutritional limits to animal production from pastures**. Part 3. Limitations caused by chemical composition and digestibility. Proceedings of an International Symposium held at St. Lucia, Queensland, Australia, August 24th-28th, 1981. Farnham Royal: CSIRO-Division of Tropical Crops and Pastures. CAB, 1984. cap.3, p.89-110.
- OLIVEIRA, J.R. da C. Produção, composição química e digestibilidade da gramínea *Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf & Hubbard cv. Bigalta em diferentes idades de corte. Lavras, 1987. 70p. Dissertação (Mestrado.) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.
- OLSEN, S.R.; KHASAWNEH Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed.) **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. cap.14, p.361-410.
- ORELLANA, A.P.; HAAG, H.P. Nutrição mineral de *Andropogon gayanus* KUNTH. var. *bisquamulatus* (HOCHST) HACK. III. Nível crítico de fósforo. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.39, p.77-87, 1982.
- PALHANO, A.L.; HADDAD, C.M. Exigências nutricionais e valor nutritivo de *Cynodon dactylon* (L.) PERS. cv. Coast-cross N°1. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.10, p.1429-1438, 1992.

- PEÑA, A.; CAJAS, H.; MANRIQUE, L.P. Caracterización preliminar del "Pasto Clavel" *Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf. & Hubb. en dos tipos de suelos de la Zona Central del Valle. *Acta Agronômica*, v.32, n.1/2, p.63-74, 1982.
- PLUCKNETT, D.L.; FOX, R.L. Effect of phosphorus fertilization on yields and composition of pangola grass and *Desmodium intortum*. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 9., **Proceedings**. São Paulo: Departamento da Produção Animal da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1967. v.2, p.1525.
- POSTIGLIONI, S.R. *Hemarthria altissima* e capim estrela, *Cynodon nelmfuensis* como pastagens diferidas na Região dos Campos Gerais do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.9, p.1293-1301, 1990.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; ABREU, C.A. de Interpretação de Resultados de análise de solo. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Ed.) **Recomendações de calagem e adubação para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agronômico, 1996. 285p. (IAC Boletim Técnico, 100).
- REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B.; PEVERILL, K.I.; PRICE, G.H. Guidelines for collecting, handling and analyzing plant materials. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. (Ed.) **Plant analysis: an interpretation manual**. Melbourne: Inkata Press, 1988. cap.3, p.20-33.
- ROBSON, A.D.; SNOWBALL, K. Nutrient deficiency and toxicity symptoms. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. (Ed.) **Plant analysis: an interpretation manual**. Melbourne: Inkata Press, 1988. cap.2, p.13-19.
- SALINAS, J.G.; SANCHEZ, P.A. Soil-plant relationships affecting varietal and species differences in tolerance to low available soil phosphorus. **Ciência e Cultura**, v.28, n.2, p.156-168, 1976.
- SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J.; RACZ, G.J. Reactions of phosphate fertilizers in soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J. (Ed.) **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1980. cap.11, p.263-310.
- SARAIVA, O.F.; CARVALHO, M.M. Adubação nitrogenada e fosfatada para o estabelecimento de capim-elefante em Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, n.2, p.201-205, 1991.

- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 56p.
- SCHANK, S.C.; KLOCK, M.A.; MOORE, J.E. Laboratory evaluation of quality in subtropical grasses: II. Genetic variation among hemarthrias in In Vitro digestion and stem morphology. **Agronomy Journal**, v. n.65, p.256-258, 1973.
- SKERMAN, P.J.; RIVEROS, F. **Gramíneas tropicales**. FAO, 1992. 849p. (Colección FAO: Producción y Protección Vegetal, 23.).
- SMITH, F.W. Pasture species. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B. (Ed.) **Plant analysis: an interpretation manual**. Melbourne: Inkata Press, 1988. p.100-119.
- 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.
- SMITH, P.F. Mineral analysis of plant tissues. **Annual Review of Plant Physiology**, v.13, p.81-108, 1962.
- TISDALE, S.L.; NELSON, N.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 4.ed. New York: Macmillan, 1985. p.59-94.
- WEDIN, N.F. Fertilization of cool-season grasses. In: MAYS, D.A. (Ed.) **Forage Fertilization**. Madison: Soil Science Society of America, 1974. cap.5.
- WERNER, J.C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. 49p. (Boletim Técnico, 18).
- 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.
- WERNER, J.C.; MATTOS, H.B. Estudo de nutrição do capim-gordura *Melinis minutiflora*. **Boletim de Indústria Animal**, v.29, n.1, p.175-184, 1972.
- ZONTA, E.P.; MACHADO, A.A. **Sistema de análise estatística para microcomputadores**. Piracicaba: ESALQ, 1987.