

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA
FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DE FONTES E DOSES
DE FÓSFORO PARA O CAPIM-TIFTON 85**

Henrique Coutinho Junqueira Franco

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Junho de 2003

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA
FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO AGRONÔMICA DE FONTES E DOSES
DE FÓSFORO PARA O CAPIM-TIFTON 85**

Henrique Coutinho Junqueira Franco

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Janeiro de 2003

SÚMARIO

	Página
RESUMO	4
SUMMARY	5
1. INTRODUÇÃO	6
2. REVISÃO DE LITERATURA	8
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. Primeiro crescimento	31
4.2. Segundo crescimento	44
4.3. Terceiro crescimento	57
4.4. Soma dos crescimentos	68
4.5. A avaliação da eficiência agronômica	73
4.5.1. Índice de eficiência agronômica (IEA)	73
4.5.2. Equivalente em superfosfato triplo (EqST)	75
4.5.3. Comparação de curvas de resposta (EqST médio)	77
4.6. Avaliação da eficiência econômica relativa	78
4.7. Dinâmica do perfilhamento	80
5. CONCLUSÕES	83
6. REFERÊNCIAS	84

AValiação Agronômica de Fontes de Fósforo para o Capim-Tifton 85

RESUMO - Com o objetivo de avaliar a eficiência agronômica de fontes de fósforo (P) para o capim-Tifton 85 (três crescimentos), sobre a produção de massa seca (parte aérea e raízes) e perfilhamento do 'Tifton 85', conduziu-se um experimento em vasos contendo amostras de um LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO textura média. Os fertilizantes fosfatados utilizados foram: o superfosfato triplo-ST (fonte referência), os fosfatos naturais reativos de Gafsa e Arad e o termofosfato magnesiano (pó e grosso), aplicados nas doses 30, 60, 90 e 120 mg kg⁻¹. A adubação fosfatada promoveu incrementos significativos na produção de massa seca (parte aérea) e no perfilhamento da forrageira durante todo período experimental, assim como na produção de massa seca de raiz (1º e 3º crescimentos). A eficiência dos fosfatos reativos (Arad e Gafsa) aumentou significativamente quando se considerou seu efeito residual. O aumento da granulometria do termofosfato prejudicou a sua atuação. O método do "equivalente em ST médio" foi o que melhor avaliou os resultados de eficiência agronômica, mostrando através dos dados, que se deve obter a curva de resposta completa de cada fonte e avaliar o seu efeito residual. Quando se considerou a soma dos três crescimentos, o fosfato natural Arad foi o único fertilizante fosfatado que superou a fonte de referência (ST) em termos econômicos. O nível crítico de P no solo e na planta foram respectivamente 18 mg dm⁻³ e 2,4 g kg⁻¹. A adubação fosfatada aumentou a concentração de P e a porcentagem de proteína bruta na parte aérea da forrageira durante todo o período experimental.

Palavras-Chave: *Cynodon* spp, eficiência agronômica e econômica, fosfato de rocha, perfilhamento, termofosfato magnesiano

AGRONOMIC EVALUATION OF PHOSPHORUS SOURCES AND RATES FOR TIFTON 85 GRASS

SUMMARY – With the objective of evaluating the agronomic effectiveness of phosphorus (P) sources for the Tifton 85 grass (three cutting) on the production of the dry mass (shoot and roots) and on the tillering of ‘Tifton 85’, we were led to an experiment in pots containing samples of a “LATOSSOLO VERMELHO AMARELO” (Oxisol). The phosphate fertilizers used were: triple superphosphate – TSP (reference source), Gafsa and Arad phosphates rock, and fused magnesium phosphate (powder and coarse). The fertilization with phosphorus promoted significant increments in the dry mass yield (shoot) and on tillering of the forage during all the experimental period as well as the production of the roots dry mass (1st and 3rd cutting). The effectiveness of the phosphates rock (Arad and Gafsa) increased significantly when considering its residual effect. The increase of the particle size of the fused magnesium phosphate decreased its effectiveness. The method “equivalent medium TSP” was the one that better evaluated the results of the agronomic effectiveness. Showing, from the results, it was observed that the complete response curve of each source must be obtained and its residual effect evaluated. When the sum of the three cuttings was considered, the Arad phosphate rock was the only fertilizer that overcame the reference source (TSP) in economic terms. The critical levels of the soil and plant were respectively 18 mg dm⁻³ and 2,4 g kg⁻¹. The fertilization with phosphorus raised the concentration of the P and crude protein content in the shoot of the forage during all the experimental period.

Keywords: agronomic and economic effectiveness, *Cynodon* spp., fused magnesium phosphate, phosphate rock, tillering

1. INTRODUÇÃO

Em várias regiões do estado de São Paulo é crescente o interesse pelas forrageiras do gênero *Cynodon*, por serem consideradas capazes de proporcionar elevadas quantidades de forragem de alta qualidade e resistirem aos fatores adversos do clima.

O capim-Tifton 85 é uma gramínea que, quando bem manejada, constitui uma alternativa viável em sistemas intensivos de produção, podendo ser utilizada tanto em pastejo como através de forragem conservada, principalmente na forma de feno. Sem dúvida, a introdução dessa forrageira requer uma atenção especial em relação à fertilidade do solo, uma vez que ela é mais exigente que as forrageiras comumente mais utilizadas no Brasil. Neste sentido, para as recomendações de calagem e adubação de forrageiras no Estado de São Paulo, WERNER et al. (1996) agruparam essa gramínea entre as mais exigentes em fertilidade do solo. Entretanto, as informações sobre essa forrageira são escassas para as condições do Estado de São Paulo.

As quantidades necessárias de fósforo para as plantas são relativamente pequenas em comparação com os macronutrientes nitrogênio e potássio. Entretanto, para a correção da deficiência de fósforo, é necessária uma grande quantidade de adubo fosfatado, fato este causado pela alta capacidade de retenção desse nutriente no solo, em formas pouco solúveis, não disponíveis para as plantas. Isto é influenciado pelos altos teores de óxidos de ferro e alumínio, além do baixo valor pH. Essa baixa disponibilidade de fósforo deve comprometer não apenas o estabelecimento do capim-Tifton 85, como também deve afetar sua produtividade e valor nutritivo.

Com o aumento da competitividade através da globalização da economia, é imprescindível o aprimoramento de técnicas para aumentar a eficiência de utilização deste nutriente, sem, contudo, aumentar os custos de produção. Esforços neste sentido não são apenas agronomicamente recomendáveis, mas, sobretudo estrategicamente necessários, uma vez que as reservas de minério fosfáticos

constituem um recurso natural relativamente escasso no Brasil, não renovável, sem sucedâneo e indispensável para a agricultura.

A possibilidade do emprego dos fosfatos naturais a um custo de produção mais baixo é há muito enfatizada como alternativa viável para o suprimento da necessidade de fósforo dos solos brasileiros. No entanto, os fosfatos nacionais têm mostrado, em relação às fontes solúveis em água, uma eficiência inicial baixa, melhorando com o decorrer dos anos, porém, sem apresentarem um efeito residual superior aos dos superfosfatos. Nestas circunstâncias, tem sido apregoada a transformação dos fosfatos naturais através de algum processo para melhorar a sua solubilidade, destacando-se o tratamento térmico. Assim se abriria a possibilidade de um maior aproveitamento das jazidas, em vista da possibilidade de utilização de rochas de baixa qualidade e menos concentradas em fósforo.

Por outro lado, existe uma linha de pensamento que é favorável à utilização de rochas fosfatadas importadas, deixando a nacional para emprego estratégico, em vista de projeções pouco animadoras das reservas desse minério. Dentro deste contexto, surgem como opções os fosfatos naturais de Arad e Gafsa, os quais são originários de depósitos sedimentares e, apresentam um alto grau de substituição de fosfato por carbonato, sendo assim mais reativos.

Sendo assim, neste trabalho objetivou-se: verificar o efeito inicial e residual de doses e fontes de fósforo na produção de massa seca da parte aérea e das raízes e no perfilhamento do capim-Tifton 85; avaliar os efeitos da adubação fosfatada na fertilidade do solo (pH, P, K, Ca, Mg, H + Al e V%) e nas concentrações de nutrientes (P, Ca, Mg, K e N) na parte aérea das plantas; determinar o nível crítico de fósforo no solo e na planta e avaliar a eficiência agrônômica e econômica das fontes de fósforo, tendo o superfosfato triplo como referência.

2. REVISÃO DE LITERATURA

O capim-Tifton 85, do gênero *Cynodon*, foi desenvolvido na “Coastal Plain Experiment Station (USDA – University of Georgia)”, localizada em Tifton, sul do Estado da Georgia, tendo sido liberado para os agropecuaristas nos Estados Unidos em maio de 1992 (BURTON & MONSON, 1993). Essa gramínea é o melhor híbrido F₁ entre uma introdução sul-africana (PI 290884) e o Tifton 68 e, foi selecionado por sua alta produtividade e alta digestibilidade, quando comparado com a maioria das outras bermudas híbridas (PEDREIRA, 1996). Segundo BURTON & MONSON (1993) o Tifton 85 produziu 26% mais massa seca (MS) que o cultivar Coastal e foi 11% mais digestível. Os mesmos autores descreveram o Tifton 85, como um híbrido pentaplóide estéril, de porte mais alto, com colmos maiores e folhas mais largas, de cor mais escura quando comparado com os outros híbridos de gramas bermudas, como o Coastal, o Tifton 44 e o Tifton 78.

O capim-Tifton 85 quando bem manejado, constitui uma alternativa viável em sistemas intensivos de produção, podendo ser utilizada para pastejo ou como forragem conservada, principalmente na forma de feno. Sem dúvida, a introdução dessa forrageira requer uma atenção especial em relação à fertilidade do solo.

A adubação adequada cresce em importância em áreas destinadas à produção de feno, devido à remoção do material cortado e, com este, grandes quantidades de nutrientes.

Segundo FLORES et al. (1990) em sistemas intensivos de produção de gramíneas forrageiras aplicam-se altas doses de fertilizantes nitrogenados, com o objetivo de se obter altos rendimentos de forragem. Porém, esta técnica faz com que se removam elevadas quantidades de outros nutrientes, como o fósforo (P).

JONES & WATSON (1991) constataram que a maioria dos estudos sobre nutrição de forrageiras do gênero *Cynodon* envolvem o nitrogênio (N), e que trabalhos sobre as respostas destas gramíneas à aplicação de fósforo são raros.

A grande maioria dos solos tropicais são altamente intemperizados, apresentam baixos teores de fósforo e, muitas vezes, elevadas quantidades de óxidos de ferro e alumínio, os quais tendem a adsorver rapidamente as formas solúveis desse nutriente. Essa baixa disponibilidade de fósforo compromete não apenas o estabelecimento das plantas forrageiras, como também afeta sua produtividade e seu valor nutritivo.

JACKSON et al. (1959) relataram que, no sudoeste dos EUA a aplicação de altas quantidades de nitrogênio têm aumentado a produção de feno e a concentração de proteína em grama-bermuda (*Cynodon dactylon*). Esta expressiva resposta à adubação nitrogenada apresenta como inconveniente o fato dos agricultores não darem a devida importância aos demais nutrientes, principalmente ao fósforo. Dessa maneira, num experimento conduzido durante seis anos, esses autores verificaram que o fósforo disponível do solo era exaurido gradativamente em função das doses de nitrogênio utilizadas e, após quatro anos de experimentação, severa deficiência de fósforo era observada, ocorrendo concomitantemente redução na produção de feno. A aplicação de 56 kg ha^{-1} de P_2O_5 corrigiu a carência e aumentou a produção de forragem. Em função das interações significativas N x P e N x K observadas, os autores sugeriram, para solos semelhantes ao do experimento, empregar uma relação de fertilizantes na adubação de manutenção desta gramínea (uma unidade de P_2O_5 e duas de K_2O para cada quatro unidades de N).

Dentro deste contexto, FREITAS & JORGE (1982) avaliando a resposta do capim swanee-bermuda (*Cynodon dactylon*) à aplicação de N, P e S, num Latossolo Vermelho-Amarelo localizado no cerrado brasileiro e apresentando teor de fósforo muito baixo (1 mg dm^{-3} , extrator H_2SO_4), verificaram que o tratamento com 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 na forma de superfosfato triplo, mais 300 kg ha^{-1} de N na forma de uréia e 40 kg ha^{-1} de S na forma de gesso, proporcionou os maiores rendimentos de massa seca (MS) da forrageira durante os três anos do experimento, apresentando uma produtividade média de $22,3 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A testemunha sem aplicação destes nutrientes, apresentou uma produtividade de $10,9 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e o tratamento sem aplicação de fósforo, mas com a aplicação de nitrogênio e enxofre uma produtividade de $13,7 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, evidenciando-se assim, as altas exigências de fósforo na adubação

desta gramínea nas condições do estudo. Os autores verificaram ainda, que a concentração de fósforo na parte aérea da forrageira aumentou com a adubação fosfatada, mas não ultrapassou o valor de $1,7 \text{ g kg}^{-1}$. Esses resultados levaram os autores a concluir que, devido à grande importância da adubação fosfatada na produtividade da forrageira swanee-bermuda, mais pesquisas sobre métodos de aplicação e fontes de fósforo (ainda que menos solúveis), deveriam ser realizadas para tornar mais eficiente e econômica sua prática.

HERNÁNDEZ & CARDENAS (1983) avaliando durante dois anos a resposta do capim-coastcross-1 à aplicação de doses de nitrogênio, fósforo e potássio, verificaram um aumento nos rendimentos de forragem à medida que se aumentou a dose de fósforo (50, 100 e $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de P), porém, sem que as mesmas diferissem significativamente da testemunha (sem aplicação de fósforo). Segundo os autores, não ocorreram respostas da forrageira à adubação fosfatada, provavelmente, pelo fato de os teores de fósforo (não apresentados) no solo terem sido suficientes para suprir a necessidade da cultura.

MESA et al. (1983) estudando a resposta de quatro cultivares de *Cynodon dactylon* (Cruzada-2, Callie, 67 e 68) à aplicação de doses de P (0, 100, 250, 350, 450, 550, 650 e 750 kg ha^{-1}), em experimento de casa-de-vegetação com um solo arenoso tendo teor muito baixo de fósforo, verificaram que todos os cultivares responderam significativamente à adubação fosfatada. Os cultivares Callie, 67 e 68 não apresentaram respostas significativas a doses mais elevadas que 100 kg ha^{-1} de P, enquanto que o cultivar Cruzada-2 apresentou o maior rendimento de forragem com a dose de 650 kg ha^{-1} de P. Os autores constataram que a adubação fosfatada diminuiu a concentração de nitrogênio na parte aérea de todos os cultivares, devido um efeito de diluição. A adubação fosfatada aumentou significativamente a concentração de fósforo no tecido vegetal de todos os cultivares, sendo que nos cultivares 67 e 68 este aumento foi mais pronunciado, atingindo valores de $4,0 \text{ g kg}^{-1}$ de P com a maior dose de fósforo, segundo os autores, por um consumo de luxo deste nutriente. O nível crítico de P na parte aérea foi de 1,92; 2,05; 2,25 e $2,38 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente para os cultivares Cruzada-2, Callie, 67 e 68.

WRIGHT et al. (1984) avaliando a resposta de seis tipos de grama-bermuda (*Cynodon dactylon*) à adubação nitrogenada (112, 224 e 448 kg ha⁻¹ de N na forma de nitrato de amônio) e fosfatada (0, 25, 75 e 225 kg ha⁻¹ de P, como superfosfato triplo) num experimento em condições controladas, utilizando um solo “Typic Hapludult” com pH 5,0 e teor de fósforo de 10 mg kg⁻¹ (Bray-1), verificaram que todas as forrageiras responderam significativamente à adubação fosfatada, com destaque para o cultivar Quicksand common. Os autores destacaram que o fósforo foi o fator de produção mais importante para as condições do estudo, pois, sem a sua aplicação os cultivares de grama-bermuda praticamente não produziram, independente da dose de nitrogênio utilizada. A adubação fosfatada aumentou a concentração de fósforo na parte aérea das principais forrageiras (os autores não publicaram a análise química da parte aérea de todos os cultivares) de forma linear. Por outro lado, à medida que se elevou a dose de fósforo empregada, aumentaram-se os acúmulos de nitrogênio na parte aérea das plantas, como no cultivar Quicksand common, quando se aplicou 25 kg ha⁻¹ de P obteve-se um acúmulo de 88,8 mg/vaso de N, já nas doses 75 e 225 kg ha⁻¹ de P os valores de N foram 139,3 e 179,2 mg/vaso respectivamente.

DAY & PARKER (1985) trabalhando com Coastal-bermuda estabelecida em solo com teor médio de fósforo, estudaram os efeitos da adubação com nitrogênio, fósforo e potássio segundo uma relação fixa N: P₂O₅: K₂O de 4: 1: 3, tendo-se como base as doses de nitrogênio (84- 168- 336 e 672 kg ha⁻¹), verificaram que a adubação aumentou significativamente a produção de massa seca, sendo este efeito atribuído principalmente ao nitrogênio. Os autores criticaram o uso de relações fixas N: P₂O₅: K₂O, uma vez que as menores doses de fósforo empregadas (9,2 e 18,4 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅) foram insuficientes para atender as quantidades removidas pela planta.

CALVO & ORTIZ (1987) estudando os efeitos da aplicação de nitrogênio (100 e 200 kg ha⁻¹), fósforo (25 e 50 kg ha⁻¹) e potássio (50 e 100 kg ha⁻¹) no comportamento de dois cultivares (Jamaicano e Tocumen) de pasto estrela (*Cynodon nlemfuensis*), num solo “Ferralítico Amarillento” de baixa fertilidade e com o teor de fósforo (1,43 mg por 100 gramas de solo), verificaram que sem a aplicação de fósforo e potássio a

produtividade foi reduzida em 29 e 38%, respectivamente, para o Jamaicano e Tocumen.

PACHECO et al. (1987) em experimento conduzido em condições de campo durante três anos, empregando doses de P_2O_5 de até 600 kg ha^{-1} , aplicados apenas no início do experimento, verificaram aumentos significativos na produção de massa seca do capim estrela-jamaicano (*Cynodon nlemfuensis*) com a aplicação de 150 kg ha^{-1} de P_2O_5 , destacando a dose de 300 kg ha^{-1} de P_2O_5 como sendo a ideal para produzir-se de forma sustentável. Constataram ainda, que a concentração e a exportação de fósforo na forrageira foram crescentes com as doses empregadas e, a recuperação aparente do fósforo ao término do experimento esteve entre 50,5 e 68,8%.

PACHECO et al. (1988) avaliando a resposta de gramíneas forrageiras à aplicação de fósforo, em um experimento de campo com três anos de duração, utilizando as doses de 0, 135, 270 e 360 kg ha^{-1} de P_2O_5 , aplicados em uma única dose no início do estudo, verificaram que ambas as forrageiras do gênero *Cynodon* ('Estrela jamaicano'- *Cynodon nlemfuensis* e 'Bermuda 68'- *Cynodon dactylon*) responderam à aplicação de fósforo durante todo o período experimental, apresentando uma produtividade média de massa seca de 21,0 e $21,9 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, respectivamente para o 'Estrela Jamaicano' e o 'Bermuda 68' com a dose de 270 kg ha^{-1} de P_2O_5 , enquanto que a testemunha (sem aplicação de fósforo) proporcionou uma produção significativamente menor ($16 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$).

WIENDENFELD (1988) avaliando o crescimento da grama-bermuda (*Cynodon dactylon*) durante quatro anos em relação à aplicação de P_2O_5 (0; 34 e 69 kg ha^{-1} , fornecidas na forma de superfosfato triplo na primavera de cada ano) num Alfissolo, verificou que a adubação fosfatada promoveu incrementos significativos na produção de massa seca e na concentração de fósforo na planta. Acrescentou que na ausência da adubação fosfatada, o fósforo disponível no solo decresceu ano após ano, manteve-se constante quando se aplicou a dose de $34 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de P_2O_5 e com a dose de $68 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ de P_2O_5 notou-se um incremento nos teores de fósforo no solo. A recuperação aparente do fósforo aplicado chegou a 30% no ano com maiores precipitações pluviais, mas a média dos quatro anos de experimentação foi igual a 16%.

PACHECO et al. (1989) estudando os efeitos de doses de P_2O_5 (0, 135, 270 e 360 kg ha⁻¹), aplicadas em área total e incorporado ao solo (“Fersialítico Rojo Pardusco Ferro Magnesiano”, com baixo teor de fósforo e com pH_{KCl} 4,5) no início do experimento, na produção de massa seca do pasto estrela jamaicano (*Cynodon nlemfuensis*), verificaram resposta significativa da forrageira à aplicação de fósforo nos dois anos de avaliação, de tal maneira que nas parcelas sem aplicação de fósforo foi impossível estabelecer-se à cultura. Com a aplicação de 360 kg ha⁻¹ de P_2O_5 obteve-se o maior rendimento de forragem (23,9 t ha⁻¹ - total de dois anos), enquanto que as outras doses (270 e 135 kg ha⁻¹ de P_2O_5) proporcionaram produções respectivamente de 18,7 e 13 t ha⁻¹. A concentração de fósforo na parte aérea da forrageira não ultrapassou 1,3 g kg⁻¹, durante todo período experimental, valor considerado muito baixo pelos autores, apesar de terem sido aplicadas altas doses de fósforo que, possivelmente, tiveram alta fixação no solo. Constataram ainda, um decréscimo severo na produtividade e na persistência da forrageira, passando de uma cobertura de 90 % da área com forragem no primeiro ano, para 40 % no segundo ano com a maior dose de P_2O_5 (360 kg ha⁻¹).

PAULINO et al. (1990) avaliando o comportamento de seis gramíneas forrageiras, num Latossolo Roxo, verificaram que tanto na ausência como na presença da aplicação de superfosfato simples (450 kg ha⁻¹ ano⁻¹, parcelados em três aplicações iguais: em janeiro, 1/3 em maio e 1/3 em outubro) a grama-estrela de Porto Rico foi a que produziu as maiores quantidades de massa seca e de proteína bruta. Porém, nas condições do estudo, não ocorreram diferenças significativas na aplicação do fertilizante fosfatado na produção de massa seca da grama-estrela de Porto Rico (*Cynodon nlemfuensis*).

FLORES et al. (1990) avaliando a resposta do pasto Estrela jamaicana (*Cynodon nlemfuensis*) a doses de P_2O_5 (0, 150, 300, 450 e 600 kg ha⁻¹), num solo “Fersialítico Pardo Rojizo” com baixo teor de fósforo (2 mg por 100 gramas de solo), aplicadas no início do experimento, verificaram elevada resposta da forrageira à aplicação de fósforo neste tipo de solo em todo período experimental. A testemunha (sem a aplicação de fósforo) apresentou uma produção de massa seca de 16,6 e 9,4 t ha⁻¹ ano⁻¹,

respectivamente para o 1º e 2º ano, enquanto a aplicação de 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅ resultou em produção de massa seca de 19,8 e 16,6 t ha⁻¹ ano⁻¹. Segundo os autores, em solos com teores muito baixos de fósforo, para que se possa atingir altos patamares de produção de forragem, a aplicação de fósforo é indispensável. Os autores verificaram que a concentração ideal de fósforo na parte aérea das plantas foi de 2,5 g kg⁻¹ e foi obtida com a dose de 150 kg ha⁻¹ e 450 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente para o primeiro e segundo ano do experimento.

Por outro lado, HERNÁNDEZ & CARDENAS (1990) estudando a resposta do pasto estrela 'Jamaicano' (*Cynodon nlemfuensis*) a adubação com nitrogênio (0, 150, 300 e 400 kg ha⁻¹), P₂O₅ (0, 50, 100, 150 e 200 kg ha⁻¹) e K₂O (0, 100 e 200 kg ha⁻¹) durante dois anos, num solo com baixo teor de fósforo (2,37 mg por 100 gramas de solo- Bray II), verificaram que a adubação fosfatada não aumentou significativamente a produção de massa seca da forrageira no primeiro ano, apesar do teor de fósforo no solo ser baixo. Porém, no segundo ano, houve efeito significativo da adubação fosfatada na produção de massa seca de forragem, onde o tratamento com 300, 150 e 200 kg ha⁻¹, respectivamente de N, P₂O₅ e K₂O, foi o que propiciou o maior rendimento de forragem (26,5 t ha⁻¹), enquanto que o tratamento com as mesmas doses de N e K₂O mas sem P₂O₅, apresentou uma produção significativamente inferior (23,1 t ha⁻¹).

JONES & WATSON (1991) estudando a resposta da grama bermuda (*Cynodon dactylon*) a aplicação de doses de nitrogênio, fósforo e potássio, verificaram que as produções de massa seca da forrageira durante os três anos, são mais dependentes da aplicação de nitrogênio, porém em solos com teores de fósforo baixo ou muito baixo, as respostas à aplicação de fósforo devem ser esperadas.

HILLARD et al. (1992), avaliando os efeitos da calagem e da adubação fosfatada (0, 15, 30 45, 60, 120 e 240 kg ha⁻¹ de P na forma de superfosfato triplo, aplicados no primeiro e segundo ano) na produção de massa seca da forrageira do gênero *Cynodon* cultivar Coastal bermuda num Ultisolo, verificaram que a calagem não aumentou significativamente a produção da forrageira nos quatro anos, apesar de ela ter eliminado o Al tóxico do solo e elevado o pH do solo até 6,2. A adubação fosfatada, porém, foi o fator mais importante para se elevar à produção da forrageira, indicando

que o teor de fósforo original do solo foi limitante (P de 7,9, 3,4 e 3,6 mg kg⁻¹ – acetato de amônio 0,025 M H₄EDTA, respectivamente para as três avaliações realizadas durante os anos do experimento). A produção máxima de forragem (8,51 t ha⁻¹) foi obtida com 60 kg ha⁻¹ de P no primeiro ano, 90 kg ha⁻¹ no segundo ano (produção de 13,9 t ha⁻¹) e 480 kg ha⁻¹ no terceiro ano (produção de 11,5 t ha⁻¹). Constataram que teor de P no solo entre 10 e 15 mg kg⁻¹ foi suficiente para propiciar os maiores rendimentos de forragem durante todos os anos do trabalho. Além de aumentar o teor de fósforo no solo, a adubação fosfatada aumentou a concentração de fósforo na parte aérea da forrageira em todos os anos avaliados e o nível crítico de fósforo foi 1,6 g kg⁻¹ no primeiro e no terceiro ano, ao passo que no segundo ano este valor foi de 2,2 g kg⁻¹, devido à segunda aplicação de fósforo neste mesmo ano.

Segundo SEGARS & USHERWOOD (1997) para cada tonelada de forragem de grama bermuda colhida, são necessários 14,4 kg de P₂O₅. Os autores constataram também que a produção decaiu de 8,8 para 7,1 t de forragem/ha quando não se realizou a adubação fosfatada.

A produtividade de uma gramínea forrageira decorre da sua contínua emissão de folhas e perfilhos, processo importante na restauração da área foliar, sob condições de corte e pastejo (OLIVEIRA, 1999). Segundo MAYA et al. (2001), os incrementos na produção de massa seca em pastagens pode se dar através de dois processos: no aumento da densidade populacional de perfilhos e/ou massa individual dos perfilhos.

O perfilhamento nas gramíneas forrageiras ocorre em função de fatores internos e externos à planta, como genótipo, florescimento, temperatura, luminosidade, manejo de cortes ou pastejo e nutrição mineral (Langer, 1972 citado por OLIVEIRA 1999).

Um adequado suprimento de fósforo no solo é essencial para o rápido e eficiente estabelecimento das pastagens, devido ao importante papel que este nutriente desempenha no desenvolvimento do sistema radicular e no perfilhamento das gramíneas (CARVALHO, 1985).

WERNER et al. (1967), avaliando os efeitos de diversos nutrientes no desenvolvimento do capim-colonião (*Panicum maximum*) num solo de baixa fertilidade,

verificaram que sem a aplicação de fósforo, independente de qualquer outro nutriente, a forrageira não perfilhou, resultando em uma produção de forragem muito baixa.

PASSOS et al. (1997) avaliando os efeitos de fontes de fósforo (termofosfato magnesiano e superfosfato triplo, na dose de 200 mg kg^{-1} de P) na presença ou ausência de calagem e/ou gessagem, na produção de massa seca e no perfilhamento (avaliados no primeiro e último crescimento) de duas gramíneas forrageiras (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Andropogon gayanus* cv. Planaltina) num Latossolo variação Una ($P = 0,7 \text{ mg kg}^{-1}$ e pH 4,9), verificaram que nos tratamentos sem a aplicação de fósforo, as plantas de *Brachiaria* e do *Andropogon* não perfilharam no primeiro crescimento, e as fontes de fósforo não diferiram entre si quanto ao número de perfilhos por vaso na *Brachiaria*. Mas, no último crescimento o superfosfato triplo propiciou um maior número de perfilhos na presença da calagem, diferindo significativamente do termofosfato. Com o *Andropogon* no primeiro crescimento, o termofosfato magnesiano foi superior estatisticamente ao superfosfato triplo na ausência de calagem, porém, no último crescimento, o superfosfato triplo foi superior significativamente ao termofosfato magnesiano na presença, como na ausência de calagem.

RODRÍGUES et al. (1999) avaliando os efeitos da nutrição fosfatada na emergência de perfilhos na cultura do trigo (*Triticum aestivum*), verificaram que a adubação fosfatada afeta sensivelmente o perfilhamento desta gramínea.

KALMBACHER et al. (1993) verificaram que a aplicação de 25 kg ha^{-1} de P, na forma de superfosfato triplo, no início da estação chuvosa em todos os anos do estudo, não afetou a produção de massa seca e a densidade de perfilhos da forrageira “creeping bluestem” (*Schizachyrium scorparium*). MISTURA et al. (2001) também não verificaram efeitos significativos da adubação fosfatada no número total de perfilhos do capim-elefante anão (*Pennisetum purpureum*), cultivado num Planossolo com um teor médio de fósforo ($22,46 \text{ mg dm}^{-3}$).

Outra importante função que o fósforo exerce nas plantas, já citada por CARVALHO (1985), é o estímulo ao maior desenvolvimento do sistema radicular, fazendo com que estas explorem um volume maior de solo, em vista disto, absorvam mais água e nutrientes.

Nesse sentido, RAO et al. (1996) estudando quatro forrageiras tropicais (uma gramínea e três leguminosas), verificaram que o incremento das doses de fósforo (0, 10, 20 e 50 kg ha⁻¹, na forma de superfosfato triplo) aumentaram a densidade de raízes da *Brachiaria dictyonera*, de 8 km m⁻² para 52 km m⁻², respectivamente para as doses 0 e 50 kg ha⁻¹ de P, o que resultou em uma maior produção de forragem. Outra observação importante sobre o efeito do maior desenvolvimento das raízes foi a maior absorção de nitrogênio pela gramínea.

PASSOS et al. (1997) também verificaram efeitos significativos da adubação fosfatada na produção de massa seca das raízes das gramíneas forrageiras *Brachiaria brizantha* e *Andropogon gayanus*, onde, sem a aplicação de fósforo as plantas da testemunha produziram 0,77 e 1,80 g/vaso, respectivamente para a braquiaria e o andropogon, enquanto que com a adição de 200 mg kg⁻¹ de P (superfosfato triplo), as forrageiras apresentaram massa de raiz de 61,92 e 40,19 g/vaso, respectivamente.

Na agricultura brasileira as fontes de fósforo solúveis em água são as mais utilizadas (COUTINHO et al., 1991a) e, são reconhecidamente excelentes fornecedoras desse nutriente por proporcionarem elevada eficiência agrônômica (SILVA et al., 1977; GOEDERT & LOBATO, 1980; GOEDERT & LOBATO, 1984; OLIVEIRA et al., 1984; MACEDO, 1985; GOEDERT et al., 1990; COUTINHO et al., 1991a; COUTINHO et al., 1991b; ROSSI et al., 1999; SOARES et al., 2000). Porém, estas fontes apresentam algumas limitações, principalmente devido à necessidade de se empregar H₂SO₄ na sua fabricação, para solubilizar o fósforo presente na rocha fosfórica, o que resulta em um alto investimento por se tratar de uma matéria prima importada (RAIJ, 1986).

Segundo COUTINHO et al. (1991b) a possibilidade do emprego de fosfatos naturais ou semi - industrializados a um custo de produção mais baixo é há muito enfatizada pela comunidade científica brasileira.

Porém, os fosfatos naturais brasileiros são de baixas solubilidade e eficiência agrônômica, tendo, portanto, pouca viabilidade de uso na sua aplicação direta (GOEDERT et al., 1986). Pois, apresentam uma eficiência inicial baixa, em relação às fontes solúveis em água, melhorando com o decorrer dos anos, sem, contudo, apresentarem um efeito residual superior ao dos superfosfatos (FEITOSA et al., 1978;

FERREIRA & KAMINSKI, 1979; GOEDERT & LOBATO, 1980; GOEDERT & LOBATO, 1984; KAMINSKI & MELLO, 1984; OLIVEIRA et al., 1984; MACEDO et al., 1985; GOEDERT et al., 1990; BRAGA et al., 1991; COUTINHO et al., 1991a; COUTINHO et al., 1991b). Dessa maneira, considerando-se a baixa eficiência desses fosfatos e os elevados custos de transporte, é esperado que o uso destes fertilizantes deva ficar restrito às proximidades das jazidas (GOEDERT et al., 1990). Segundo CABALAROSAND & SANTANA (1986) esta baixa eficiência das rochas fosfáticas brasileiras é devida a sua origem geológica, ou seja, por se tratarem de apatitas de origem ígnea, predominando as fluorapatitas: $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ (ALCARDE & PONCHIO, 1980). Não apresentando em sua estrutura cristalina o carbonato, estas rochas apresentam uma estrutura bastante forte e, em vista disto, a liberação de fósforo e cálcio se processa lentamente.

Nestas circunstâncias, tem sido enfatizada a transformação desses fosfatos naturais, com intuito de se obter fontes com elevada eficiência agrônômica, a um custo mais acessível (GOEDERT et al., 1986). Segundo FIRME et al. (1990) uma das alternativas para o aumento da solubilidade desses fosfatos naturais é o tratamento térmico, levando a produção de termofosfatos, o que permitiria um maior aproveitamento das jazidas, em vista da possibilidade de utilização de rochas menos concentradas e de baixa qualidade (GOEDERT et al., 1990).

O termosfosfato, apesar de ser uma fonte insolúvel em água, tem apresentado resultados de eficiência agrônômica similares ou superiores aos obtidos com os superfosfatos (MACHADO et al., 1983; SANZONOWICZ et al., 1987; COUTO et al., 1989; GOEDERT et al., 1990; FIRME et al., 1990; COUTINHO et al., 1991a; COUTINHO et al., 1991b; NAKAGAWA et al., 1993; PASSOS et al., 1997; NAKAYAMA et al., 1998; KORNDÖRFER et al., 1999). Este bom desempenho do termofosfato pode ser explicado através da natureza do seu processamento, pois, no aquecimento (altas temperaturas) que a rocha fosfórica (apatita) é submetida, a estrutura cristalina da mesma é completamente destruída, produzindo um produto à base de silício-fosfato de magnésio (NAKAYAMA et al., 1998). Este produto, apesar de ser insolúvel em água, apresenta uma alta solubilidade em citrato neutro de amônio e ácido cítrico (ALCARDE

& PONCHIO, 1979), o que ratifica seu bom desempenho no fornecimento de fósforo para as culturas, no contexto da agricultura brasileira.

Mas, além do termofosfato magnésiano ser um bom fornecedor de fósforo as plantas, muitos pesquisadores atribuem os bons resultados, à sua capacidade de corrigir a acidez do solo e, ainda fornecer cálcio (Ca) e magnésio (Mg) às culturas (MACHADO et al., 1983; SANZONOWICZ et al., 1987; COUTO et al., 1989; NAKAGAWA et al., 1983; PASSOS et al., 1997; BELTRAN et al., 1998).

Segundo BELTRAN et al. (1998) a capacidade do termofosfato magnésiano em corrigir a acidez do solo e aumentar a V %, é devida a liberação de OH⁻ e silicatos alcalinos. A reação alcalina dos termofosfatos aumenta o pH na região afetada pelo fertilizante, precipitando os íons Al⁺³, e diminuindo a adsorção e a insolubilização do fósforo ao redor das partículas, permitindo a liberação do nutriente em condições que favorecem uma menor reatividade do mesmo com os componentes dos solos ácidos.

COUTINHO et al. (1991a) avaliando a eficiência agrônômica de fontes de fósforo na produção de grãos de milho (*Zea mays*), verificaram que o termofosfato magnésiano não diferiu estatisticamente da fonte de referência (superfosfato triplo) nas duas safras agrícolas realizadas. Os autores atribuíram este resultado, apenas à capacidade do termofosfato no fornecimento de fósforo, visto que, este fertilizante não alterou significativamente as variáveis relacionadas com a acidez do solo e os teores de cálcio e magnésio no solo e na planta. Resultados semelhantes foram obtidos por COUTINHO et al. (1991b) com a cultura da soja (*Glycine max*).

O termofosfato é utilizado principalmente na forma pó (75% do material passante em peneira com abertura de malha de 0,15 mm). Com o objetivo de facilitar o manuseio e a aplicação desse produto, tem sido oferecida a opção do termofosfato “grosso” (100% passante em peneira ABNT nº 20 - abertura de malha de 0,84 mm), especialmente para a formação de pastagens, embora os estudos sobre o comportamento deste fertilizante nesta granulometria são incipientes em solos brasileiros.

KAMINSKI et al. (1992) avaliando a eficiência do termofosfato, em função da sua granulometria (100 e 35 malhas por polegada quadrada – m.p.p.), verificaram que

o fosfato mais fino (100 m.p.p.) foi superior estatisticamente em relação ao de maior granulometria (35 m.p.p.) no fornecimento de fósforo.

STEFANNUTI (1991) trabalhando com termofosfatos verificaram que o termofosfato na forma pó foi significativamente superior aos demais termofosfatos de granulometria maior, durante dois cultivos consecutivos de trigo. BÜLL et al. (1997) avaliando o efeito de tipos de termofosfato nas propriedades químicas de um Latossolo Vermelho-Escuro, com teor de fósforo muito baixo (2 mg dm^{-3}), verificaram que o termofosfato granular proporcionou uma produção de massa seca total (parte aérea e raiz) de alface (*Lactuca sativa*) de 2,4 g/vaso, a qual foi significativamente inferior ao termofosfato de granulometria mais fina (10,2 g/vaso). Mas, no decorrer do experimento (três cultivos) a forma granular se equiparou ao de granulometria menor. Este resultado discorda do obtido por MOREIRA et al. (1997) os quais não verificaram diferenças significativas na produção de massa seca de arroz (*Oriza sativa*) em função da utilização de termofosfatos de diferentes granulometrias (Yoorin MG –20 % retido em peneira de malha 0,149mm; Yoorin MC – 7 % retido em peneira de malha 0,84 mm; Yoorin semi-acabado – 31 % retido em peneira de malha 0,84 mm).

Por outro lado, existe uma linha de pensamento, que defende a idéia de se importar fosfatos naturais reativos, deixando as jazidas brasileiras para um emprego estratégico, por se tratar de uma fonte não renovável (COUTINHO et al., 1991b).

Segundo CHIEN (2001) sob determinadas condições os fosfatos de rocha podem ser agronomicamente efetivos, e a sua aplicação na agricultura pode ser uma alternativa economicamente viável para diminuir os custos de produção com as fontes de fósforo solúveis. Destacou ainda, que a solubilidade do fosfato de rocha é diretamente proporcional ao grau de substituição de carbonato por fosfatos na estrutura da rocha, no processo conhecido por substituição isomórfica, que é o fator chave para determinar a reatividade química da rocha fosfórica.

LEON et al. (1986) classificaram os fosfatos naturais de Gafsa (Tunísia) e Arad (Israel), como fontes de alta eficiência agrônômica. Isto devido ao fato destas rochas apresentarem em sua estrutura cristalina um alto grau de substituição isomórfica.

Portanto, essas rochas têm alta reatividade química, disponibilizando fósforo as plantas num menor espaço de tempo, em comparação as rochas fosfóricas brasileiras.

Neste contexto, vários trabalhos comprovaram a boa eficiência inicial do fosfato natural de Gafsa, quando aplicado na forma pó (FERREIRA & KAMINSK, 1979; OLIVEIRA et al., 1984; CABALA-ROSAND & SANTANA, 1986; LEON et al., 1986; DANIEL et al., 1997; CAMARGO & SILVEIRA, 1998).

Com relação ao fosfato natural Arad, CAMARGO & SILVEIRA (1998) trabalhando com vários fosfatos naturais num solo com pH ácido, verificaram que esse fosfato apresentou um índice de eficiência agrônômica mais elevado que o superfosfato triplo, em dois cultivos sucessivos com milho em casa-de-vegetação. Esses autores destacaram que o fosfato natural Arad, quando aplicado em quantidades inferiores aos outros fosfatos naturais (Patos de Minas e Catalão), promoveu uma maior produção de massa seca de milho. Apontaram que isto foi devido à estrutura cristalográfica e composição química desse fosfato, as quais lhe conferem uma maior reatividade e solubilidade mais rápida. Porém, KORNDÖRFER et al. (1999) avaliando a eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho, verificaram que fosfato natural israelense Arad, apresentou um índice de equivalente em superfosfato triplo de apenas 60%, ou seja, bem inferior à fonte padrão. Resultados semelhantes foram obtidos por DANIEL et al. (1997).

Segundo ALCARDE et al. (1998) a granulometria do fertilizante sólido está relacionada com o tamanho e a forma de suas partículas. Fundamenta-se no fato que a subdivisão de um material aumenta a superfície de exposição por unidade de massa. Como consequência disto, todos os fenômenos que dependem do contato, como velocidade de dissolução, são intensificados ou reduzidos em função do tamanho de partícula. Os adubos fosfatados insolúveis em água, como os termofosfatos e os fosfatos naturais, devem ser preferidos com granulometria mais fina. Esses autores destacaram que quanto menor for a solubilidade do fertilizante, maior deve ser o grau de finura do material. Esta premissa é comprovada pelos resultados de FERREIRA & KAMINSK (1979), COUTINHO et al. (1991a) e COUTINHO et al. (1991b), onde os

autores verificaram uma baixa eficiência inicial do fosfato de Gafsa, devido a sua maior granulometria (forma granulada).

CUNHA & VENTIMIGLIA (2001) avaliando a solubilidade de fosfatos de rochas, verificaram, após 140 dias de incubação, que a granulometria do fosfato de Gafsa influenciou significativamente a sua solubilização, pois, na granulometria mais fina (< 0,08 mm) apresentou uma dissolução de 15% do fósforo total, enquanto na granulometria maior (> 1,18 mm) o fosfato de Gafsa solubilizou apenas 8 %.

Segundo CHIEN (2001) para se maximizar os efeitos dos fosfatos de rocha, estes devem ser aplicados em área total e incorporados ao solo, com o intuito de se maximizar a superfície de contacto entre as partículas do fertilizante com o solo. Confirmando esta afirmação, SOARES et al. (2000) estudando os efeitos de fontes de fósforo na recuperação de uma pastagem degradada (*Brachiaria decumbens* cv. Basilisk), verificaram que o fosfato de Gafsa só foi efetivo na produção de massa seca de forragem quando foi aplicado em área total e devidamente incorporado ao solo.

Segundo GOEDERT & LOBATO (1980) existe uma conveniência em se aplicar os fosfatos naturais em solos mais ácidos, situação em que ocorre maior solubilização destes materiais. Na prática isso pode ser feito com a utilização de plantas mais tolerantes à acidez. Contudo esta alternativa só é válida, segundo os autores, quando o teor de cálcio e magnésio no solo for satisfatório, ou seja, a estratégia de se aproveitar à acidez natural do solo para acelerar a solubilidade dos fosfatos naturais depende da cultura e das condições do solo.

MACHADO et al. (1983) constataram que o fosfato natural de Gafsa somente foi similar ao superfosfato triplo na ausência da calagem, evidenciando assim a ação do pH do solo na solubilidade e conseqüentemente liberação de fósforo para as plantas. CARAMORI (2000) em experimento com o capim-Tanzânia (*Panicum maximum*) verificou no primeiro crescimento, em termos de produção de massa seca, diferenças significativas no desempenho do fosfato de Gafsa na presença da calagem. Com o decorrer do experimento, as fontes de fósforo (fosfato de Gafsa e superfosfato triplo) não apresentaram diferenças estatísticas entre si, embora na presença da calagem proporcionassem maiores produções de forragem.

RAMOS (1982) avaliando a eficiência de fosfatos na produtividade das culturas do trigo e da soja, num Latossolo Vermelho Escuro com pH (H₂O) 4,6, verificaram durante todo período experimental (três safras) que a acidez do solo não alterou os efeitos do fosfato de Gafsa (pó), pois, as produções de grãos de trigo e soja, na presença ou ausência da calagem, não apresentaram diferenças significativas.

Na comparação de fosfatos de rocha com fosfatos solúveis em água, dois aspectos básicos devem ser considerados: a resposta imediata e o efeito residual (MACEDO et al., 1985). Geralmente, a eficiência da fonte solúvel em água é alta nos primeiros cultivos, decrescendo com o tempo. Esta queda na eficiência é devida ao processo de adsorção ou fixação do fósforo oriundo destas fontes (MOREIRA et al., 1997; KORNDÖRFER et al., 1999). Por outro lado, os fosfatos de rocha reativos apresentam um bom efeito residual nos rendimentos das culturas, devido à dissolução gradativa das formas de fósforo contidas nesses materiais, que diminuem a chance de fixação do fósforo pelos colóides do solo (VALE et al., 1998).

Diversos trabalhos de pesquisa constataram bom efeito residual do fosfato de Gafsa, sob as mais diversas condições de solo e manejo (OLIVEIRA et al., 1984; MACEDO, 1985; MACEDO et al., 1985; SANZONOWICZ et al., 1987; COUTINHO et al., 1991a; COUTINHO et al., 1991b; VALE et al., 1998; ROSSI et al., 1999; CARAMORI, 2000).

O estudo da eficiência agronômica de fontes de fósforo é importante para orientar a indústria de transformação, bem como para recomendar ao produtor rural o melhor manejo para cada fonte (GOEDERT et al., 1986).

Existem várias alternativas de uso de índices relacionando fontes de fósforo com um padrão, em geral o superfosfato triplo nos trabalhos mais recentes e o superfosfato simples nos mais antigos. Porém, muitas vezes, obtêm-se resultados extremamente distintos de eficiência agronômica de uma mesma fonte (GOEDERT & LOBATO, 1980; MACEDO et al., 1985; SANZONOWICZ et al., 1987; KORNDÖRFER et al., 1999)

Segundo GOEDERT & LOBATO (1984) a eficiência agronômica das fontes de fósforo nos primeiros anos (ou cultivos) será um fator importante na análise econômica, principalmente, porque o diferencial inicial poderá não ser compensado com o passar

do tempo, ou seja, o efeito residual do fosfato natural só será promissor se as perdas econômicas iniciais foram mínimas.

Neste contexto, raramente tem sido feita análise econômica, provavelmente, em alguns casos, pelas dificuldades de se atribuir aos fosfatos experimentais o seu preço de custo. Isso não deixa de ser uma lacuna, considerando que sem análise econômica fica difícil definir aqueles fosfatos potencialmente promissores (RAIJ, 1986).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido em casa-de-vegetação, no período de setembro de 2001 a fevereiro de 2002, utilizando-se vasos de cerâmica (diâmetro = 0,22 m; altura = 0,20 m) com 2,8 kg de solo. Empregaram-se amostras de um solo classificado segundo EMBRAPA (1999), como LATOSSOLO VERMELHO – AMARELO, Distrófico, textura média, coletadas da camada superficial (0 - 0,20 m) de uma área da região de Jaboticabal-SP. Este solo apresentou as seguintes características químicas: pH (CaCl₂) 3,9; M.O.= 15 g dm⁻³; P (resina) = 3 mg dm⁻³; K = 0,6 mmol_c dm⁻³; Ca = 4 mmol_c dm⁻³; Mg = 2 mmol_c dm⁻³; H+Al = 58 mmol_c dm⁻³; CTC = 64,6 mmol_c dm⁻³ e V = 10%. Os tratamentos constituíram um fatorial 5 x 4 (cinco fontes de fósforo e quatro doses de fósforo) mais uma testemunha sem aplicação de fósforo, dispostos num delineamento inteiramente ao acaso, com cinco repetições. As fontes de fósforo empregadas foram: superfosfato triplo (42,10% de P₂O₅ total); fosfato natural Arad (34,33% de P₂O₅ total; 9% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 20 g L⁻¹, na relação 1:100); fosfato natural de Gafsa (29,10% de P₂O₅ total; 9% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 20 g L⁻¹, na relação 1:100); termofosfato magnesiano pó (18,0 % de P₂O₅ total; 16,2% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 20 g L⁻¹, na relação 1:100) e o termofosfato magnesiano grosso (18,0 % de P₂O₅ total; 15,2% de P₂O₅ solúvel em ácido cítrico 20 g L⁻¹, na relação 1:100). As doses utilizadas de P foram: 30; 60; 90 e 120 mg kg⁻¹ de solo, tomando-se como base de cálculo o fósforo total de cada fonte.

Os fertilizantes fosfatados apresentaram as seguintes características físicas: superfosfato triplo = 100% passando em peneira de 2 mm, ABNT nº 10 e 50% em peneira de 0,3 mm, ABNT nº 50; termofosfato magnesiano pó = 80% passando em peneira de 0,15 mm, ABNT nº 100; termofosfato magnesiano grosso = 100% passando em peneira de 0,84 mm, ABNT nº 28 e fosfatos naturais de Gafsa e Arad na forma farelada = 100% passando na peneira de 4,8 mm, ABNT nº 4 e 80% na peneira de 2,8 mm, ABNT nº 7.

Para a correção da acidez do solo, foi realizada a aplicação de calcário dolomítico (PRNT = 90 %) com o objetivo de elevar a saturação por bases do solo a 60 %. Para essa finalidade, a dose do corretivo foi definida num pré-experimento de incubação, onde se obteve uma relação entre a saturação por bases e as doses do calcário. O corretivo foi homogeneamente incorporado ao volume total do solo de cada vaso e, em seguida foi adicionado 450 ml de água destilada, com o objetivo de se manter a umidade do solo a 80 % da capacidade de campo. Deixou-se o solo incubando pelo período de 20 dias. Após este período, o solo de cada vaso foi seco ao ar e destorroadado, procedendo-se então a aplicação dos fertilizantes fosfatados e dos produtos constituintes da adubação básica.

A adubação básica, realizada em todos os vasos (inclusive na testemunha), foi constituída de: N = 60 mg kg⁻¹ (nitrato de amônio p.a.), K = 150 mg kg⁻¹ e S = 62 mg kg⁻¹ (sulfato de potássio p.a.), B = 0,5 mg kg⁻¹ (ácido bórico p.a.), Cu = 0,5 mg kg⁻¹ (sulfato de cobre p.a.) e Zn = 3,0 mg kg⁻¹ (sulfato de zinco p.a.). Todos estes produtos foram dissolvidos em 100 ml de água destilada, e aplicados na forma de solução, sobre todo o volume do solo, e após a sua homogeneização, foi adicionado 450 ml de água destilada, com o objetivo de manter a umidade do solo a 80% da capacidade de campo. Deixou-se o solo incubando por um período de 15 dias. Após este período foram coletadas 300 g de solo de cada tratamento para fins de análise química.

Em seguida, realizou-se o transplante das mudas do capim-Tifton 85, em novembro de 2002, empregando-se quatro estolões de 0,10 m cada, com duas gemas cada. Quinze dias após o transplante realizou-se um corte de uniformização, a 0,10 m da superfície do solo. Foram realizados três cortes manuais (utilizando-se tesouras) da parte aérea da forrageira, a 0,10 m da superfície do solo, em intervalos de 30 dias.

Após cada corte da parte aérea (inclusive no corte de uniformização), aplicou-se em cobertura 160 mg kg⁻¹ de N e 50 mg kg⁻¹ de K, nas formas de nitrato de amônio p.a. e cloreto de potássio p.a., respectivamente. Durante todo período experimental foram realizadas regas diárias com água destilada, procurando-se manter o solo com uma umidade de 80% da capacidade de campo. A quantidade de água adicionada era definida através da pesagem diária dos vasos.

Após o primeiro crescimento, duas repetições foram desativadas para permitir a realização de uma amostragem de solo e a avaliação da massa seca das raízes.

Após a colheita da parte aérea (três crescimentos) e das raízes (após o primeiro e terceiro crescimentos), as mesmas foram lavadas e colocadas para secar em estufa a 65 °C. Depois de secar, o material foi pesado para a determinação da produção de massa seca. A parte aérea das plantas, posteriormente, foi moída e armazenada para futuras análises químicas (determinação das concentrações de N, P, K, Ca e Mg). O preparo e as análises químicas do material vegetal foi realizado segundo BATAGLIA et al. (1983). O teor de proteína bruta foi estimado multiplicando-se o teor de N por 0,625.

Ao final do terceiro crescimento, depois de retiradas as raízes do solo, foram coletadas amostras de solo de cada tratamento para fins de análise química.

Nas amostras de solo (três amostragens) foram determinados o valor pH e os teores de P, K, Ca, Mg e H + Al, empregando-se metodologias descritas por RAIJ et al. (1987).

Avaliou-se o perfilhamento da forrageira, nas três repetições que permaneceram durante o experimento. Os perfilhos foram marcados com anéis coloridos, utilizando-se para cada tipo de perfilho uma cor: perfilho mãe (principal) - branco; perfilho primário - azul; perfilho secundário - vermelho; perfilho terciário - laranja. Com este tipo de marcação foi possível avaliar a dinâmica de produção de perfilhos. As avaliações foram realizadas a cada sete dias.

O número total de perfilhos foi obtido através da somatória da dinâmica do perfilhamento dentro de cada tratamento. A massa dos perfilhos foi obtida de maneira indireta, através do quociente da produção de massa seca da parte aérea em cada crescimento, pelo número total de perfilhos.

Para avaliação da eficiência agronômica das fontes de fósforo, foi utilizada como fonte de referência o superfosfato triplo, avaliado por três métodos.

O método do índice de eficiência agronômica (IEA) é calculado com base no diferencial de produção obtido entre as fontes, comparadas com a mesma dose de P total aplicada (GOEDERT et al., 1986) onde:

$$IEA(\%) = \frac{y_2 - y_1}{y_3 - y_1} \cdot 100$$

y_1 = produção obtida pela parcela onde não houve aplicação de fósforo (testemunha)

y_2 = produção pela fonte que está sendo testada, com a dose x de fósforo

y_3 = produção obtida pela fonte de referencia (ST) na mesma dose x de fósforo

O método do equivalente em superfosfato triplo (EqST), o seu cálculo representa a relação percentual entre a dose de fósforo na forma de superfosfato triplo e a dose de fósforo da fonte testada, que proporcionam à mesma produção (GOEDERT et al., 1986) onde:

$$EqST(\%) = \frac{X_1}{X_2} \cdot 100$$

X_1 = dose de fósforo do superfosfato triplo, necessária para se obter à produção y_2 .

X_2 = dose de fósforo da fonte teste necessária para se obter a mesma produção y_2 .

Desse modo é necessário que se conheça a curva de resposta da fonte de referência (superfosfato triplo). As curvas de respostas da fonte de referência obtidas foram:

primeiro crescimento: $y = 2,34 + 0,261x - 0,0013x^2$ ($R^2 = 0,96^{**}$)

segundo crescimento: $y = 3,54 + 0,19x - 0,0008x^2$ ($R^2 = 0,98^{**}$)

terceiro crescimento: $y = 3,57 + 0,147x - 0,0008x^2$ ($R^2 = 0,99^{**}$)

soma dos crescimentos: $y = 9,45 + 0,599x - 0,0029x^2$ ($R^2 = 0,98^{**}$)

O método de comparação de curvas de resposta (EqST médio) é obtido através do quociente dos quadrados dos gradientes das curvas, multiplicado por cem, empregando-se o superfosfato triplo como divisor:

$$EqSTm\u00e9dio(\%) = \left\{ \frac{b(y_2)}{b(y_1)} \right\}^2 \cdot 100$$

As equações que melhor descreveram as curvas de resposta, em função de cada fonte de f\u00f3sforo, s\u00e3o apresentadas a seguir, onde x representa as doses de f\u00f3sforo utilizadas, e y_1 , y_2 , y_3 , y_4 e y_5 correspondem \u00e0s produ\u00e7\u00f5es de massa seca da forrageira devidas respectivamente ao superfosfato triplo, Arad, Gafsa, termofosfato p\u00f3 e termofosfato grosso.

1\u00b0 crescimento

$$y_1 = 2,34 + 1,289x^{0,5} (R^2 = 0,97^{**})$$

$$y_2 = 1,50 + 0,929x^{0,5} (R^2 = 0,99^{**})$$

$$y_3 = 2,32 + 0,718x^{0,5} (R^2 = 0,92^{**})$$

$$y_4 = 2,21 + 1,087x^{0,5} (R^2 = 0,96^{**})$$

$$y_5 = 2,71 + 0,918x^{0,5} (R^2 = 0,88^{**})$$

2\u00b0 crescimento

$$y_1 = 3,35 + 1,075x^{0,5} (R^2 = 0,97^{**})$$

$$y_2 = 3,44 + 2,084x^{0,5} (R^2 = 0,91^{**})$$

$$y_3 = 3,99 + 1,05x^{0,5} (R^2 = 0,98^{**})$$

$$y_4 = 3,38 + 1,034x^{0,5} (R^2 = 0,95^{**})$$

$$y_5 = 3,64 + 0,816x^{0,5} (R^2 = 0,98^{**})$$

3\u00b0 crescimento

$$y_1 = 3,73 + 0,680x^{0,5} (R^2 = 0,96^{**})$$

$$y_2 = 4,35 + 0,677x^{0,5} (R^2 = 0,89^{**})$$

$$y_3 = 3,90 + 0,683x^{0,5} (R^2 = 0,97^{**})$$

$$y_4 = 3,91 + 0,642x^{0,5} (R^2 = 0,96^{**})$$

$$y_5 = 3,81 + 0,614x^{0,5} (R^2 = 0,96^{**})$$

Soma dos crescimentos

$$y_1 = 9,43 + 3,44x^{0,5} (R^2 = 0,98^{**})$$

$$y_2 = 10,42 + 2,635x^{0,5} (R^2 = 0,96^{**})$$

$$y_3 = 10,21 + 2,454x^{0,5} (R^2 = 0,96^{**})$$

$$y_4 = 9,49 + 2,764x^{0,5} (R^2 = 0,98^{**})$$

$$y_5 = 10,16 + 2,347x^{0,5} (R^2 = 0,95^{**})$$

A avalia\u00e7\u00e3o da efici\u00eancia econ\u00f4mica foi avaliada empregando-se o m\u00e9todo descrito HANAFI & SYERS (1994). O \u00edndice de efici\u00eancia econ\u00f4mica relativa foi calculado pela rela\u00e7\u00e3o do custo de um quilograma de P_2O_5 de superfosfato triplo, pelo pre\u00e7o de um quilograma de P_2O_5 da fonte teste, multiplicado pelo \u00edndice de efici\u00eancia

agronômica da fonte teste e por 100 (HANAFI & SEARS, 1994). Utilizou-se nesta expressão como índice de eficiência agronômica o EqST médio.

$$EER(\%) = \left[EqST_{m\u00e9dio} \cdot \frac{Pre\u00e7o(R\$)/kgdeP_2O_5}{Pre\u00e7o(R\$)/kgdeP_2O_5} \right] \cdot 100$$

Os resultados foram analisados estatisticamente segundo BANZATTO & KRONKA (1995). Os desdobramentos, das interações significativas entre fontes e doses de f\u00f3sforo, foram realizadas por estudo de regress\u00e3o (linear ou quadr\u00e1tica).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Primeiro crescimento

Na Tabela 1 verifica-se que a adubação fosfatada promoveu incrementos significativos na produção de massa seca da parte aérea e das raízes do capim-Tifton 85. Resultados semelhantes relativos à produção de massa seca de forragem foram obtidos por FREITAS & JORGE (1982), MESA et al. (1983), CALVO & ORTIZ (1987), PACHECO et al. (1987), PACHECO et al. (1988), PACHECO et al. (1989) e HILLARD et al. (1992), evidenciando assim, a importância do fósforo na adubação das forrageiras do gênero *Cynodon*.

Com relação ao incremento de produção de massa seca das raízes proporcionado pela adubação fosfatada, o resultado deste trabalho corrobora aqueles de CABALA – ROSAND & SANTANA (1986), PASSOS et al. (1997), BÜLL et al. (1997) e DANIEL et al. (1997). O fósforo propicia um maior desenvolvimento de raízes, pois, este nutriente atua na taxa fotossintética das folhas e, em condições adequadas de suprimento de fósforo, as folhas produzem mais fotoassimilados, os quais (25 a 50 %), dependendo da espécie vegetal e estágio de desenvolvimento da planta são redistribuídos para as raízes, onde auxiliam no desenvolvimento, respiração e outras funções como a absorção de íons (MARSCHNER, 1993). Portanto, na falta de um suprimento adequado de fósforo, a respiração do sistema radicular é afetada, prejudicando o crescimento de raízes e a absorção de nutrientes.

Na avaliação dos efeitos das fontes de fósforo, o superfosfato triplo (ST) apresentou as maiores produções de massa seca da parte aérea, diferindo estatisticamente das demais fontes (Tabela 1). Entretanto, o comportamento das fontes de fósforo (F) foi diferente em função da dose (D) considerada, ocorrendo à interação F x D ($P < 0.01$). O desdobramento desta interação, com o ajuste dos dados através de equações do segundo grau, é apresentado na Figura 1. A produção máxima de forragem (15,44 g/vaso) foi obtida com a dose de 100 mg kg^{-1} de P proporcionada pelo ST, enquanto que as demais fontes apresentaram produções máximas inferiores

(12,37; 12,00; 11,37 e 9,53 g/vaso, respectivamente para o termofosfato pó - T_{pó}, termofosfato grosso – T_{gr.}, Arad e Gafsa, obtidas com as doses de 93; 84; 118 e 91 mg kg⁻¹ de P).

Tabela 1- Efeitos das fontes e doses de fósforo na produção de massa seca da parte aérea e das raízes do capim-Tifton 85 no primeiro crescimento.

Fontes de P	Massa seca	
	Parte aérea	Raízes
	-----g/vaso-----	
Arad	9,27 c	9,35 ab
Gafsa	8,55 c	8,40 b
superf. triplo	13,39 a	12,23 a
termof. pó	11,52 b	12,15 a
termof. grosso	10,73 b	12,21 a
Teste F	51,27**	6,24**
DMS (5%)	1,05	3,15
testemunha	1,56	3,91
Doses de P (mg kg ⁻¹)		
30	8,57	9,50
60	10,43	10,25
90	11,72	10,92
120	12,04	12,72
Teste F	43,64**	4,22**
(F x D)	2,35**	2,18 ^{ns}
testem. vs. fatorial	279,15**	20,41**
C.V. (%)	11,6	20,1

NS - não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade.

Devido a sua alta solubilidade em água e citrato neutro de amônio, este bom efeito inicial do ST era esperado e, corrobora resultados de GOEDERT & LOBATO (1980), GOEDERT & LOBATO (1984), OLIVEIRA et al. (1984), MACEDO (1985), GOEDERT et al. (1990), COUTINHO et al. (1991a), COUTINHO et al. (1991b), ROSSI et al. (1999) e SOARES et al. (2000).

Aliado a esta alta solubilidade do superfosfato triplo, a correção da acidez do solo (pH em CaCl₂ ao redor de 5,4) deve ter contribuído para a eficiência observada, pois, com a calagem diminui-se a adsorção de fósforo pelos óxidos de ferro e alumínio

presentes no solo. Vários autores constataram efeitos prejudiciais da acidez do solo na eficiência agrônômica do superfosfato triplo (MACHADO et al., 1983; CABALLA-ROSAND & SANTANA, 1986; FIRME et al., 1990; CAMARGO & SILVEIRA, 1998; VALE et al., 1998).

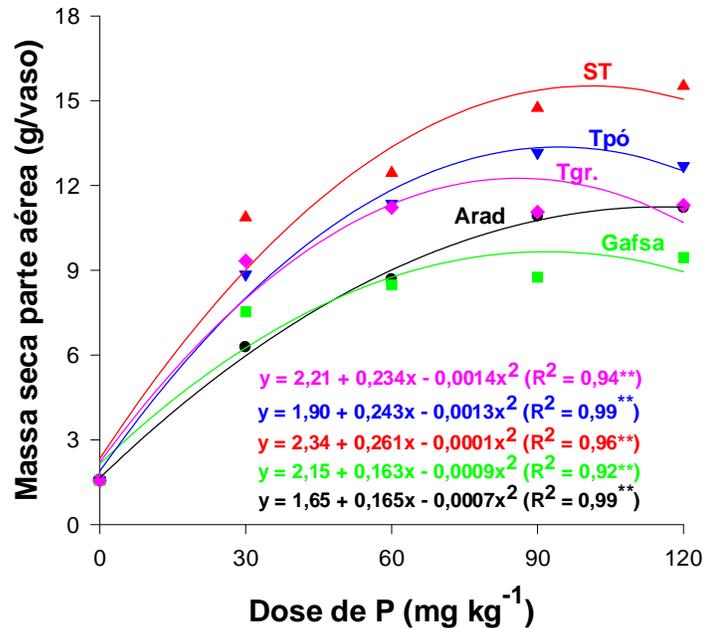


Figura 1- Efeitos de fontes e doses de fósforo na produção de massa seca da parte aérea do capim-Tifton 85 no primeiro crescimento.

Com relação aos fosfatos naturais reativos (Arad e Gafsa), ambos apresentaram as menores produções de forragem, diferindo das demais fontes (Tabela 1). Apesar de se ter incorporado os fosfatos de rocha ao solo, o que segundo SOARES et al. (2000) e CHIEN (2001) aumenta a solubilização dos fosfatos naturais, esta prática não resultou, aparentemente, em maiores produções de massa seca de forragem. Estes resultados não concordam com alguns trabalhos de pesquisa, quanto ao efeito inicial do fosfato de Gafsa na forma pó (FERREIRA & KAMINSK, 1979; OLIVEIRA et al., 1984; CABALLA-ROSAND & SANTANA, 1986; LEON et al., 1986; DANIEL et al., 1997; CAMARGO & SILVEIRA, 1998). Porém, nesses trabalhos, não foi efetuada a correção da acidez do

solo. Em vista disto, com base na semelhança do processo industrial de transformação das rochas fosfatadas em superfosfatos (aplicação de ácido sulfúrico), é de se esperar que a acidez do solo favoreça a solubilização destes materiais.

Neste trabalho os fosfatos de rocha foram utilizados na forma farelada, o que torna possível a granulometria explicar o rendimento da forrageira com estas fontes. GILLON et al. (1978), HAGIN et al. (1978) e FERREIRA & KAMINSKI (1979) verificaram que o aumento do tamanho de partícula do fosfato reativo diminuiu a sua eficiência em fornecer fósforo às plantas.

Com relação aos termofosfatos, o resultado obtido com Tpó, em relação à produção de massa seca de forragem, difere de outros trabalhos de pesquisa que constataram um efeito inicial similar ou superior desta fonte, comparada com os superfosfatos (simples ou triplo) (MACHADO et al., 1983; SANZONOWICZ et al., 1987; COUTO et al., 1989; GOEDERT et al., 1990; FIRME et al., 1990; COUTINHO et al., 1991a; COUTINHO et al., 1991b; NAKAGAWA et al., 1993; FAQUIN et al., 1997; PASSOS et al., 1997; NAKAYAMA et al., 1998; KORNDÖRFER et al., 1999; CARAMORI, 2000). Este resultado pode ser explicado, pois, devido à correção da acidez do solo se minimizou os efeitos benéficos do termofosfato: fornecimento de Ca e Mg, e elevação do pH (devido à presença de silicato na sua composição). Apesar de ter se verificado através da análise química do solo (Tabela 2) que ambos os termofosfatos, nas doses 90 e 120 mg kg⁻¹ de P, aumentaram significativamente o pH, a porcentagem de saturação por bases e os teores de Ca e Mg trocáveis, isto não resultou em uma maior produção de forragem.

Observa-se na Figura 1, que os termofosfatos apresentaram resultados distintos quanto à produção de massa seca de forragem, sendo que o Tpó nas doses 90 e 120 mg kg⁻¹ de P foi significativamente superior ao Tgr., concordando com os resultados obtidos por KAMINSKI et al. (1992), STEFANUTTI (1991), BÜLL et al. (1997) e ALMEIDA (1998), que verificaram diferenças significativas no efeito inicial entre os termofosfatos de diferente granulometria, com superioridade para o termofosfato na forma pó. A menor granulometria do Tpó lhe confere maior superfície específica, devido a isto, ocorre maior contacto entre as partículas do fertilizante e as partículas do solo e,

com isso, a solubilização dessa fonte de fósforo é mais rápida (ALCARDE et al., 1998). Porém, MOREIRA et al. (1997) não constataram diferenças significativas entre as formas (granulometria) dos termofosfatos na produção de massa seca de arroz, sendo que estas fontes foram inferiores estatisticamente à fonte padrão (ST), semelhante ao ocorrido neste presente estudo.

Tabela 2- Efeitos das doses e fontes de fósforo no pH, na porcentagem de saturação por bases e nos teores de P, K, Ca, Mg, H + Al, oriundos de amostragem de solo, realizada antes do transplante das mudas do capim-Tifton 85.

Fontes de P	pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	V
		mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----				%
Arad	5,4 c	39 bc	3,7 a	24 b	18 c	19 ab	71 b
Gafsa	5,4 c	28 d	3,6 a	24 b	18 c	19 ab	71 b
superf. triplo	5,4 c	57 a	3,6 a	23 b	18 c	21 a	69 b
termof. pó	5,9 a	37 c	3,6 a	23 b	22 b	16 c	75 a
termof. grosso	5,6 b	43 b	3,6 a	26 a	26 a	17 bc	76 a
Teste F	77,34**	57,74**	0,2 ^{ns}	9,67**	76,68**	9,42**	21,05**
DMS (5%)	0,1	6	0,27	1,5	1,57	2	3
testemunha	5,4	4	3,6	23	18	20	69
Doses de P							
(mg kg ⁻¹)							
30	5,4	19	3,7	21	19	19	70
60	5,6	32	3,6	23	19	19	71
90	5,6	48	3,6	25	21	18	73
120	5,7	65	3,6	26	23	18	74
Teste F	19,77**	256,25**	0,09 ^{ns}	34,68**	26,98**	1,29 ^{ns}	11,43**
(FxD)	4,44**	4,96**	0,11 ^{ns}	4,15**	18,96**	0,42 ^{ns}	2,21*
test. vs. fatorial	18,65**	170,17**	0,00 ^{ns}	1,10 ^{ns}	7,08**	2,18 ^{ns}	4,38*
C.V. (%)	1,9	16,0	8,4	7,1	8,8	13,0	4,1

NS - não significativo; * e ** significativo, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade.

Verifica-se na Tabela 2, que o ST proporcionou os teores mais elevados de fósforo no solo, diferindo significativamente das demais fontes. Isto era esperado, pois, o ST apresenta mais alta solubilidade em água que as outras fontes empregadas, disponibilizando fósforo as plantas em um curto espaço de tempo.

Os incrementos no teor de fósforo no solo foram proporcionais às doses de fósforo utilizadas (Figura 2). Independente da fonte empregada ocorreram respostas

lineares à aplicação de fósforo. Nota-se que os menores teores de fósforo no solo foram obtidos com o fosfato de Gafsa. Vários pesquisadores também constataram o aumento dos teores de fósforo no solo, em função da aplicação de doses de fósforo, de diferentes fontes (GOEDERT & LOBATO, 1980; COUTINHO et al., 1991a; COUTINHO et al., 1991b; NAKAYAMA et al., 1998; KORNDÖRFER et al., 1999; ROSSI et al., 1999).

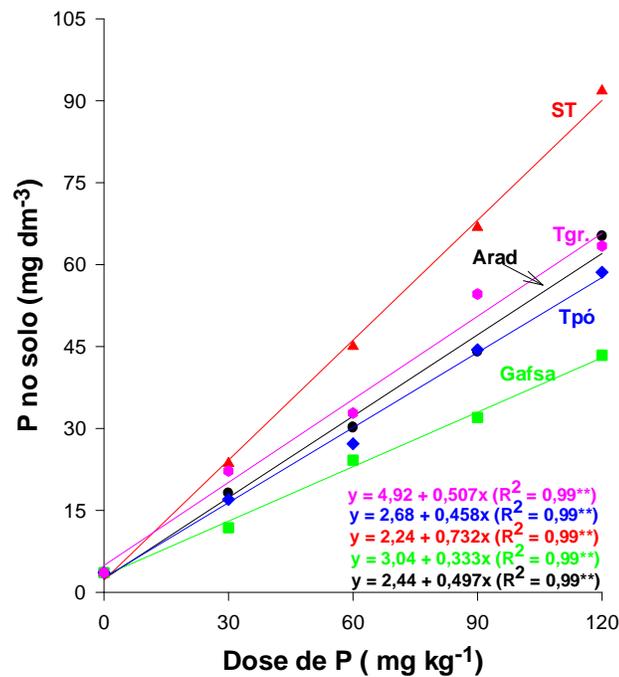


Figura 2- Efeitos de doses e fontes de fósforo no teor de fósforo no solo, antes do primeiro crescimento.

No teor de fósforo disponível do solo (Figura 2) o fosfato de rocha Arad não diferiu do termofosfato pó, o que contradiz a afirmativa de GOEDERT & LOBATO (1980) sobre a influência do pH na solubilização dos fosfatos de rocha, já que foi realizada a correção da acidez do solo. Porém, esta premissa é mais válida para os fosfatos de rocha de origem ígnea, os quais apresentam um pequeno grau de substituição isomórfica em sua estrutura cristalina, que proporciona uma lenta liberação de fósforo destes materiais. O fosfato Arad tem origem sedimentar e apresenta um alto grau de substituição isomórfica, o qual lhe confere solubilidade maior do que 40 % em

ácido cítrico. Este resultado concorda com as observações de OLIVEIRA et al. (1984) e GOEDERT et al. (1990) sobre a existência de uma estreita relação entre a disponibilidade biológica de fósforo e a solubilidade do fertilizante fosfatado em ácido cítrico.

Verifica-se na Tabela 2 aumento significativo do teor de Mg, além da correção da acidez do solo, obtida com ambos termofosfatos. Resultados semelhantes foram obtidos por MACHADO et al. (1983), SANZONOWICZ et al. (1987) COUTO et al. (1989), NAKAGAWA et al. (1983), PASSOS et al. (1997) e BELTRAN et al. (1998). Estes resultados proporcionados pelos termofosfatos nas propriedades químicas do solo ocorrem devido a esses fertilizantes apresentarem em sua composição cerca de 28 % de CaO e 14,5 % de MgO. Já a correção da acidez do solo realizada pelos termofosfatos (principalmente nas maiores doses de fósforo) é atribuída à capacidade neutralizante do ânion silicato presente em sua composição, na forma de silicatos de Ca e Mg.

Os termofosfatos apresentaram diferenças significativas entre si em algumas variáveis químicas do solo. O Tgr. foi superior ao termofosfato pó nos teores de fósforo (Figura 2), cálcio (Tabela 2) e magnésio (Figura 4), enquanto que o Tpó apresentou maior elevação do pH do solo (Figura 3). Na saturação por bases ambos os termofosfatos apresentaram comportamento semelhante (Figura 5).

Na Figura 2 verifica-se que o Tgr. proporcionou maior incremento de fósforo no solo do que o Tpó, em todas as doses utilizadas, contradizendo os resultados de produção de forragem, onde esta fonte apresentou uma eficiência inferior ao Tpó. Esta observação sugere que o resultado obtido com o Tgr. na disponibilidade de fósforo no solo está superestimada e, em vista disto, pode-se inferir que o método da resina trocadora de ânions extrai fósforo do Tgr. de forma não condizente com o nível realmente disponível às raízes dos vegetais. Resultados semelhantes foram relatados por STEFANUTTI (1991) e BÜLL et al. (1997).

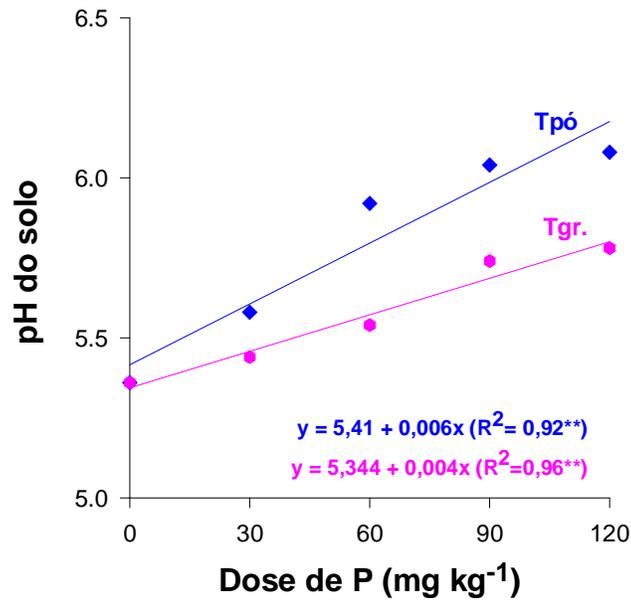


Figura 3- Efeitos de doses de fósforo como termofosfatos no pH (CaCl₂) do solo, antes do primeiro crescimento.

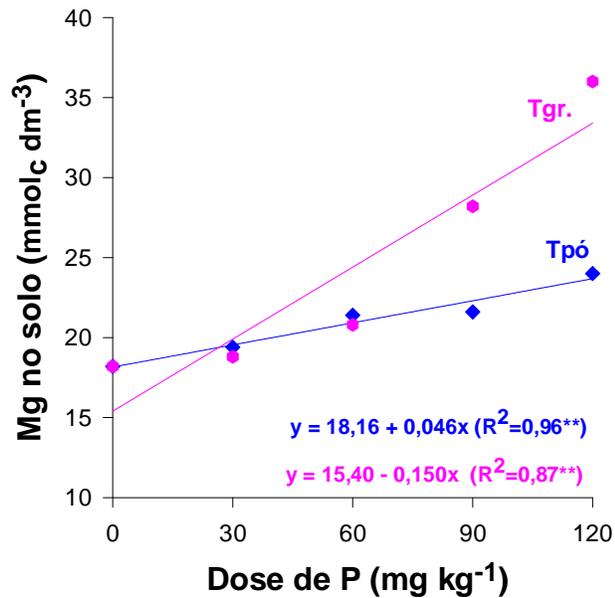


Figura 4- Efeitos de doses de fósforo como termofosfatos no teor de magnésio no solo, antes do primeiro crescimento.

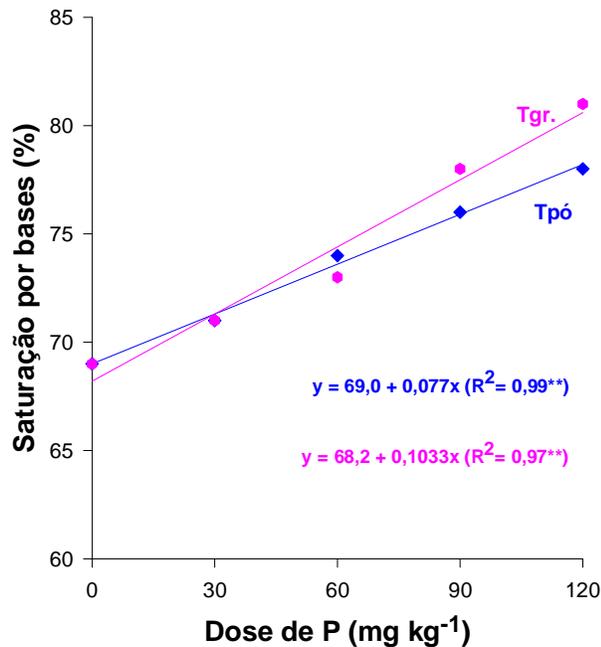


Figura 5- Efeitos de doses de fósforo como termofosfatos na porcentagem de saturação por bases do solo (V %), antes do primeiro crescimento.

Na análise química da parte aérea das plantas (Tabela 3) constatou-se que a adubação fosfatada proporcionou incrementos significativos na concentração de fósforo na parte aérea do capim-Tifton 85, com as plantas do tratamento testemunha apresentando sintomas típicos de deficiência de fósforo. O aumento na quantidade absorvida de fósforo pelas plantas do capim-Tifton 85 devido à aplicação de fertilizantes fosfatados também foi observado por FREITAS & JORGE (1982), MESA et al. (1983), WRIGHT et al. (1984), PACHECO et al. (1989), FLORES et al. (1990) e HILLARD et al. (1992), em diversas forrageiras do gênero *Cynodon*.

As concentrações de fósforo apresentaram comportamento quadrático (Figura 6) com as fontes termofosfatos e superfosfato, não diferindo estatisticamente entre si, com exceção na dose 30 mg kg⁻¹ de P, na qual o superfosfato triplo foi superior aos termofosfatos. Os fosfatos reativos, na dose 30 mg kg⁻¹ de P, proporcionaram uma reduzida concentração de fósforo na parte aérea das plantas desta forrageira, destacando-se o resultado obtido com o fosfato de Gafsa, onde a concentração obtida estava abaixo do limite inferior da faixa de suficiência (1,5 a 3,0 g kg⁻¹ de P) sugerida

por WERNER et al. (1996) para gramíneas forrageiras do gênero *Cynodon* para o Estado de São Paulo.

Tabela 3- Efeitos das doses e fontes de fósforo nas concentrações de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e de proteína bruta na parte aérea do capim-Tifton 85, no primeiro crescimento.

Fontes de P	P	K	Ca	Mg	Proteína bruta
	-----		g kg ⁻¹	-----	
Arad	2,17 b	22,26 a	4,72 a	3,98 a	15,38 a
Gafsa	2,11 b	22,22 a	4,79 a	3,85 a	15,02 a
superf. triplo	2,46 a	22,23 a	4,78 a	3,93 a	15,32 a
termof. pó	2,39 a	21,93 a	4,83 a	3,99 a	15,23 a
termof. grosso	2,41 a	21,87 a	4,77 a	3,89 a	15,24 a
Teste F	29,73**	0,21 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,17 ^{ns}
DMS (5%)	0,11	1,60	0,36	0,30	1,28
Testemunha	0,96	22,92	4,58	4,02	11,54
Doses de P (mg kg ⁻¹)					
30	1,96	22,11	4,69	3,94	15,00
60	2,33	22,16	4,71	3,92	15,40
90	2,46	22,12	4,84	3,94	15,27
120	2,47	22,00	4,86	3,90	15,29
Teste F	86,81**	0,04 ^{ns}	1,18 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,35 ^{ns}
(F x D)	14,20**	0,44 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,47 ^{ns}	0,21 ^{ns}
test. vs. fatorial	526,63**	0,99 ^{ns}	1,10 ^{ns}	0,35 ^{ns}	30,97**
C.V. (%)	5,7	8,2	8,6	8,8	15,1

NS - não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade.

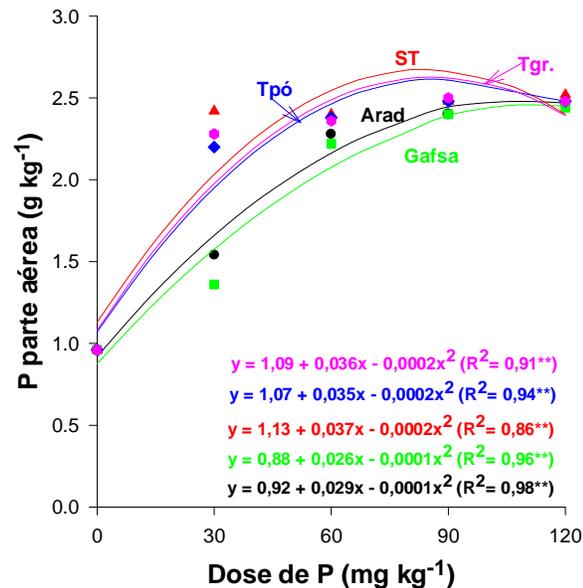


Figura 6- Efeitos de fontes e doses de fósforo na concentração de P na parte aérea das plantas do capim-Tifton 85, no primeiro crescimento.

A maior concentração de fósforo na parte aérea (2,7 g kg⁻¹) foi obtida com o ST na dose 85 mg kg⁻¹ de P, ao passo que as demais fontes resultaram em concentração de 2,6 e 2,5 g kg⁻¹, respectivamente para os termofosfatos e para os fosfatos de rocha. Porém, as doses de P que proporcionaram estas concentrações foram iguais a 86, 87, 109 e 120 mg kg⁻¹, respectivamente para o Tpó, Tgr, Arad e Gafsa. Resultado semelhante foi obtido por PALHANO & HADDAD (1992), com o 'Coastcross n^o 1' (*Cynodon dactylon*), que obtiveram concentração de fósforo igual a 2,6 g kg⁻¹, aos trinta dias de crescimento da forrageira. Mas, difere dos resultados de OLIVEIRA (1999), CASTRO et al. (1999) e FAGUNDES et al. (2000), os quais obtiveram valores mais elevados de P: 7,0; 3,8 e 4,2 g kg⁻¹, respectivamente, para o capim-Tifton 85, capim-Floriko e o capim-Tifton 68, aos 30 dias de crescimento, em solos com elevados teores de fósforo (superiores a 80 mg dm⁻³). Porém, estas concentrações relatadas por estes autores, estão acima da faixa ideal (1,5 a 3,0 g kg⁻¹) sugerida por WERNER et al. (1996), fato que não ocorreu com este trabalho, pois os tratamentos utilizados

apresentaram concentrações de fósforo dentro desta faixa de suficiência, com exceção do Gafsa na dose de 30 mg kg⁻¹ de P.

Na Tabela 3 verifica-se que a adubação fosfatada aumentou significativamente a concentração de proteína bruta na parte aérea do capim-Tifton 85 em relação à testemunha. Resultados semelhantes foram constatados por AL-KARAKI (1999) e SAWAN et al. (2001), quanto ao efeito benéfico da adubação fosfata sobre a absorção de N pelas plantas. Este aumento pode ser explicado através de um maior sistema radicular proporcionado pela nutrição com P (WERNER et al. 1967; CABALA-ROSAND & SANTANA, 1986; CARVALHO, 1985; PASSOS et al., 1997). Além disso, o fósforo é constituinte do núcleo celular das células das plantas, sendo essencial para a divisão celular e desenvolvimento do tecido meristemático do vegetal e, em vista disto, apresentar impacto decisivo na fotossíntese, síntese de proteínas e ácidos nucléicos. Portanto, a deficiência de fósforo na planta, reduz a síntese de aminoácidos e proteínas (SAWAN et al., 2001).

Com relação ao perfilhamento das plantas do capim-Tifton 85, verifica-se que a adubação fosfatada promoveu maior número de perfilhos em relação à testemunha (sem aplicação de P), que praticamente não perfilhou (Tabela 4). Estes resultados confirmam a importância do fósforo no perfilhamento de gramíneas forrageiras, corroborando resultados obtidos por WERNER et al. (1967), PASSOS et al. (1997) e RODRIGUES et al. (1999).

As fontes de fósforo diferiram significativamente na quantidade de perfilhos (Tabela 4), sendo que o superfosfato e os termofosfatos foram superiores aos fosfatos de rocha no número total de perfilhos. Comparando-se os resultados apresentados nas Tabelas 1 e 4, verifica-se que a produção de forragem, no primeiro crescimento, foi dependente do número de perfilhos. Este resultado discorda dos obtidos por MENEZES et al. (2001) com a forrageira capim-Tanzânia (*Panicum maximum*), por CARVALHO et al. (2000) com o capim-coastcross (*Cynodon*) e por CARVALHO et al. (2001) com o capim-Florakirk (*Cynodon*), os quais não encontraram correlação significativa entre o número de perfilhos e a produção de massa seca destas gramíneas.

A massa individual dos perfilhos não foi alterada pelas fontes e doses de fósforo (Tabela 4). Acredita-se que um maior número de perfilhos em crescimento e desenvolvimento, competem entre si pelos assimilados produzidos pela planta, resultando em menor peso individual, enquanto que com menor número de perfilhos ocorre uma condição mais favorável ao desenvolvimento destes (PINTO et al., 1994). Deve-se salientar, entretanto, que esta observação é válida somente quando o solo recebeu a aplicação de fósforo, uma vez que no tratamento sem fósforo (testemunha) isto não foi verificado.

Tabela 4- Efeitos das doses e fontes de fósforo no perfilhamento do capim-Tifton 85, no primeiro crescimento.

Fontes de P	Número total de perfilhos	Peso/perfilho
		g
Arad	46 bc	0,193 a
Gafsa	42 c	0,204 a
superf. triplo	62 a	0,223 a
termof. pó	66 a	0,202 a
termof. grosso	54 ab	0,205 a
Teste F	12,35**	0,96 ^{ns}
DMS (5%)	11	0,045
testemunha	16	0,090
Doses de P (mg kg ⁻¹)		
30	45	0,199
60	52	0,211
90	59	0,199
120	59	0,212
Teste F	7,38**	0,57 ^{ns}
(F x D)	1,55 ^{ns}	1,79 ^{ns}
testem. vs. fatorial	44,67**	25,56**
C.V. (%)	18,3	19,3

NS - não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade.

4.2. Segundo crescimento

A adubação fosfatada promoveu incrementos significativos na produção de forragem do capim-Tifton 85 (Tabela 5), com os tratamentos adubados com fósforo diferindo da testemunha. Este resultado confirma a alta exigência em fósforo desta gramínea, e concorda com os resultados de FREITAS & JORGE (1982), MESA et al. (1983), CALVO & ORTIZ (1987), PACHECO et al. (1987), PACHECO et al. (1988), PACHECO et al. (1989) e HILLARD et al. (1992) com forrageiras do gênero *Cynodon*.

Na Tabela 5, verifica-se que os fosfatos naturais reativos (Arad e Gafsa) apresentaram um excelente efeito residual, com destaque para o fosfato Arad que proporcionou a maior média de produção de massa seca de forragem (igual a 13,54 g/vaso), superando estatisticamente ambos os termofosfatos. Este efeito residual dos fosfatos naturais reativos deve-se a sua dissolução gradativa, o que contribui para uma menor adsorção de fósforo (VALE et al., 1998). Apesar do fato de que as fontes de fósforo solúveis em água diminuem a eficiência com o tempo, devido à adsorção do fósforo, no presente experimento o superfosfato triplo proporcionou o mesmo patamar de produção obtido no primeiro crescimento.

Vários autores também constataram importante efeito residual proporcionado pelo Arad (LEON et al., 1986; CAMARGO & SILVEIRA, 1998) e pelo Gafsa (GOEDERT et al., 1980; OLIVEIRA et al., 1984; MACEDO, 1985; MACEDO et al., 1985; SANZONOWICZ et al., 1987; COUTINHO et al., 1991a; COUTINHO et al., 1991b). Devido a sua origem geológica, estas fontes liberam o fósforo de sua estrutura cristalográfica em um menor tempo do que os fosfatos de rocha nacionais como os fosfatos de Patos de Minas, Catalão, Araxá, entre outros.

Este menor efeito residual dos termofosfatos na produção de forragem do capim-Tifton 85, principalmente o de menor granulometria (por ser o mais estudado) discorda de uma série de trabalhos da literatura (SANZONOWICZ et al., 1987; GOEDERT et al., 1990; COUTINHO et al., 1991a; COUTINHO et al., 1991b; BÜLL et al., 1997; ALMEIDA,

1998; CARAMORI, 2000), onde o termofosfato apresentou efeito residual, muitas vezes superior a fonte solúvel (ST).

O resultado do termofosfato grosso na produção de forragem discorda dos obtidos por STEFANUTTI (1991), BÜLL et al. (1997) e MOREIRA et al. (1997), que constataram um efeito residual desta fonte, não apresentando diferenças significativas em relação à fonte padrão e ao termofosfato pó. Segundo estes, maiores grânulos do termofosfato grosso fazem com que esta fonte libere o fósforo mais lentamente, diminuindo as chances de adsorção de fósforo pelos colóides do solo e aumentando o seu efeito residual.

Tabela 5 – Efeitos de fontes e doses de fósforo na produção de massa seca do capim-Tifton 85, no segundo crescimento.

Fontes de P	Massa seca parte aérea
	g/vaso
Arad	13,54 a
Gafsa	12,98 ab
superf. triplo	12,38 ab
termof. pó	12,06 b
termof. grosso	10,54 c
Teste F	9,25**
DMS (5%)	1,45
testemunha	3,46
Doses de P (mg kg ⁻¹)	
30	9,86
60	11,46
90	13,70
120	14,17
Teste F	39,12**
(F x D)	1,73 ^{ns}
testem. vs. fatorial	143,92**
C.V. (%)	10,5

NS - resultados não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade.

Na Figura 7, verifica-se que a produção máxima (13,91 g/vaso) deste crescimento foi obtida com a dose de 106 mg kg⁻¹ de P.

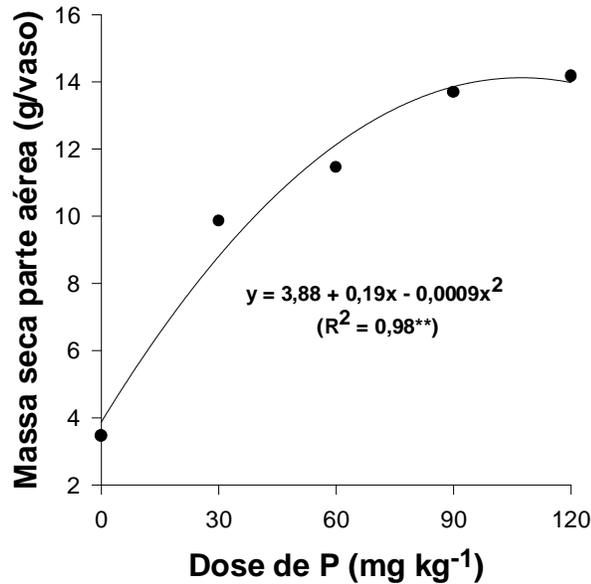


Figura 7- Efeito de doses de fósforo na produção de massa seca da parte aérea do capim-Tifton 85, no segundo crescimento.

Na Tabela 6 estão os resultados da análise de solo realizada após o primeiro crescimento. Nota-se que o fosfato Arad resultou em maior teor médio de fósforo no solo, diferindo do termofosfato pó, em todas as doses utilizadas (Figura 8). Isto explica a maior produção de forragem dos tratamentos com fosfato Arad em relação ao termofosfato pó.

Verifica-se na Tabela 6 que os teores de fósforo no solo decresceram em relação à primeira amostragem (Tabela 2), como no caso do superfosfato triplo, que passou de um valor médio de P de 57 para 25 mg dm⁻³. Resultados semelhantes foram apresentados por HERNÁNDES & CARDENAS (1990) que, trabalhando com a forrageira Grama estrela jamaicana (*Cynodon nlemfuensis*), constataram que nos tratamentos que apresentaram as maiores produções de forragem, os teores de fósforo no solo decresceram sensivelmente, no segundo ano do trabalho, em decorrência da grande extração promovida pela forrageira.

Tabela 6- Efeitos das doses e fontes de fósforo no valor pH em CaCl_2 , na porcentagem de saturação por bases (V %) e nos teores de P, K, Ca, Mg, H + Al, oriundos de amostragem realizada após o primeiro crescimento do capim-Tifton 85.

Fontes de P	pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	V
		mg dm^{-3}	----- $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ -----				%
Arad	5,2 b	27 a	1,4 a	22 ab	10 b	21 a	61 b
Gafsa	5,2 b	20 b	1,4 a	20 b	10 b	20 a	61 b
superf. triplo	5,3 b	25 a	1,1 b	20 b	9 b	20 a	61 b
termof. pó	5,8 a	19 b	1,3 ab	23 a	16 a	16 b	71 a
termof. grosso	5,6 a	28 a	1,3 ab	21 ab	15 a	16 b	69 a
Teste F	25,55**	32,75**	3,30*	3,22*	39,10**	29,75**	20,24**
DMS (5%)	0,23	3	0,3	3	2	2	5
testemunha	5,00	2	2,6	16	11	25	54
Doses de P (mg kg^{-1})							
30	5,2	8	1,6	17	10	19	60
60	5,4	20	1,3	21	11	18	64
90	5,5	28	1,1	24	13	19	66
120	5,6	38	1,1	24	13	18	68
Teste F	8,17**	369,51**	16,71**	15,32**	8,28**	3,26*	10,81**
(F x D)	3,44**	6,95**	2,95**	2,34*	4,88**	3,81**	3,20**
testem. vs. fatorial	17,85**	202,55**	91,27**	8,27*	0,70 ^{NS}	61,60**	20,64**
C.V. (%)	2,9	9,3	14,1	11,9	11,8	6,2	4,9

NS - não significativo; * e ** significativo, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade.

Na Figura 8 constata-se que o termofosfato grosso promoveu os maiores aumentos nos teores de fósforo no solo, porém, este fato não se traduziu em maior

produção de forragem. Entretanto, esses teores de fósforo no solo podem estar superestimados pelo extrator, como já discutido no primeiro crescimento.

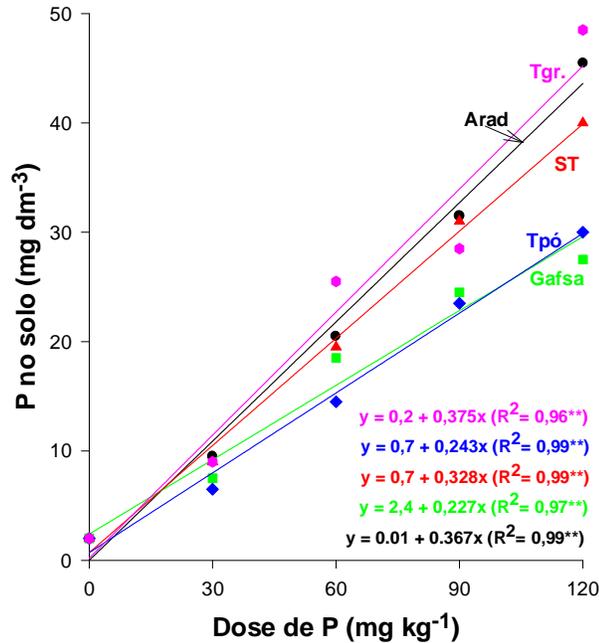


Figura 8- Efeito de doses e fontes de fósforo no teor de fósforo do solo, após o primeiro crescimento.

Entre as fontes estudadas apenas os termofosfatos alteraram significativamente o pH, a porcentagem de saturação por bases e os teores de cálcio (com exceção da variável cálcio no solo, onde o fosfato Arad por apresentar em sua composição 30 % de Ca, apresentou resultados semelhantes aos obtidos pelos termofosfatos), Mg e H + Al (Tabela 6), corroborando resultados obtidos por MACHADO et al. (1983), NAKAGAWA et al. (1983), BÜLL et al. (1997) e BELTRAN et al. (1998) quanto aos benefícios extras do termofosfato magnésiano, conforme discutido no primeiro crescimento. Mas, este fato, não contribui em uma maior produção de forragem do capim-Tifton 85.

Neste crescimento os termofosfatos não apresentaram diferenças estatísticas entre si, nas variáveis: pH, Ca, Mg, H + Al e V % (Tabela 6). No desdobramento da interação fonte x doses, percebe-se que os efeitos dos termofosfatos sobre as variáveis: pH (Figura 9), cálcio (Figura 10), magnésio (Figura 11), H + Al (Figura 12) e

V% (Figura 13) são altamente significativos, apresentando respostas lineares à aplicação de doses de fósforo. Com destaque para a superioridade do Tpó sobre Tgr nas doses de P 90 e 120 mg kg⁻¹.

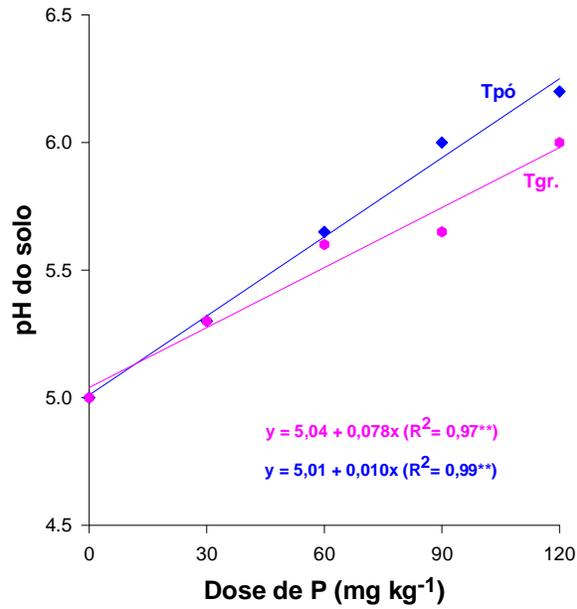


Figura 9- Efeito de doses de termofosfatos no pH do solo após o primeiro crescimento.

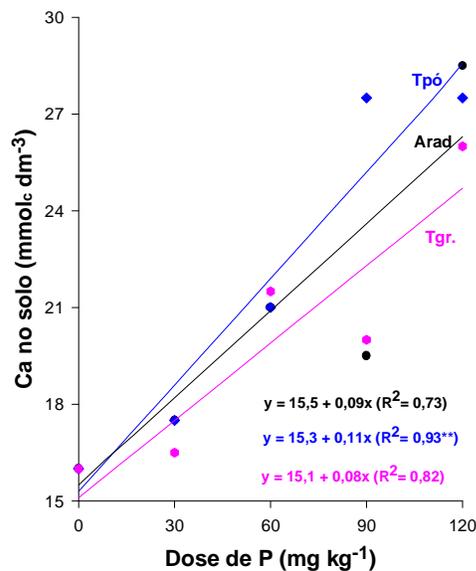


Figura 10- Efeitos de fontes e doses de fósforo no teor de cálcio no solo, após o primeiro crescimento.

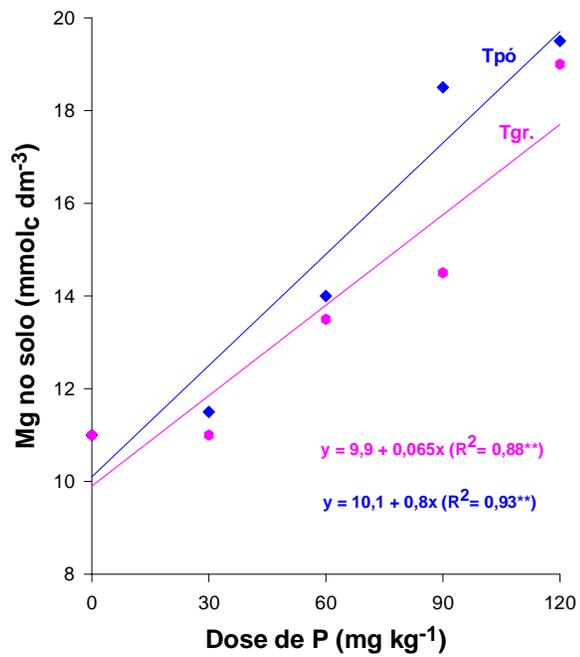


Figura 11- Efeito de doses de termofosfato no teor de magnésio do solo, após o primeiro crescimento.

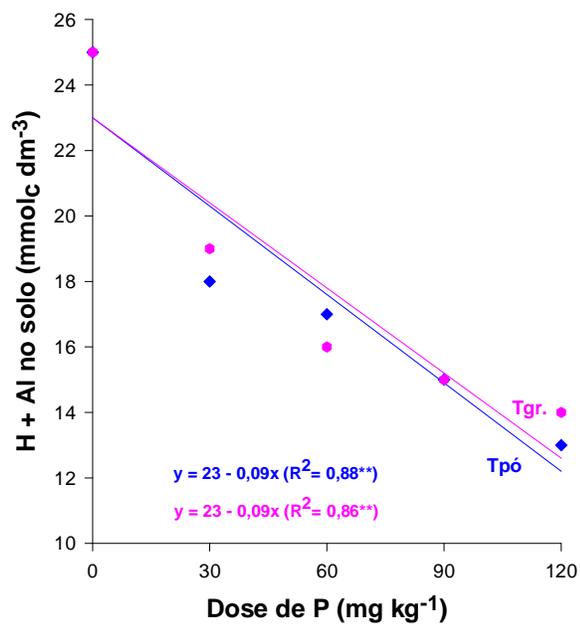


Figura 12- Efeito de doses de termofosfato no teor de H + Al do solo, após o primeiro crescimento.

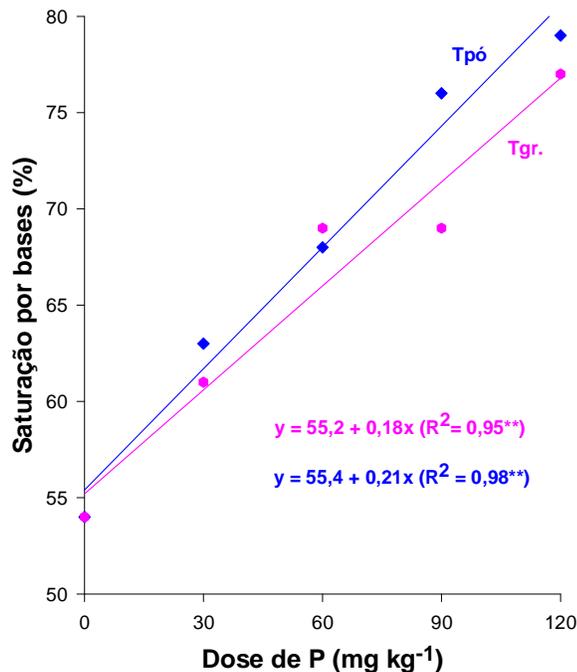


Figura 13- Efeito dos termofosfatos na porcentagem de saturação por bases (V%), após o primeiro crescimento.

Na Tabela 6 constata-se que o teor de K no solo apresentou uma acentuada queda em relação à primeira amostragem (antes do transplante das mudas do capim-Tifton 85), pois se alterou de teor ao redor de 3,6 (Tabela 2) para 1,1 mmol_c dm⁻³ (Tabela 6) quando se utilizou o ST. Isto evidencia a alta retirada de potássio por esta forrageira, concordando com os resultados de COUTINHO et al. (1999) e COUTINHO et al. (2001), que trabalharam com forrageiras do gênero *Cynodon* (capins-Tifton 68 e Coastcross) e verificaram que o teor de K no solo praticamente não foi alterado, mesmo se aplicando doses de K₂O de 180 kg ha⁻¹ após cada corte. Quanto ao efeito de fontes para esta variável, verifica-se na Figura 14 que o ST, o Tpó e Tgr. proporcionaram os maiores rendimentos de forragem no primeiro crescimento (Tabela 1), apresentaram menor teor de K no solo, ou seja, por produzirem mais forragem, retiraram maiores quantidades deste macronutriente do solo.

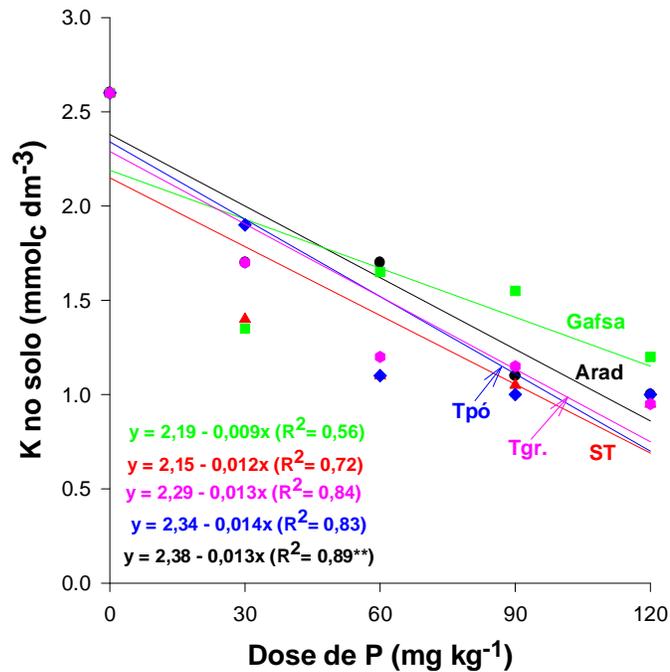


Figura 14 – Efeitos de doses e fontes de fósforo no teor de K no solo, após o primeiro crescimento do capim-Tifton 85.

Este fato fica evidente quando se analisa a concentração de potássio na parte aérea (Tabela 7) da forrageira. O superfosfato triplo apesar de ter proporcionado, neste crescimento, produção de massa seca semelhante à obtida com o fosfato Arad, diferiu na concentração de potássio, sendo isto, um reflexo do menor teor de potássio presente no solo, nos tratamentos com superfosfato triplo.

Na análise do efeito das doses na concentração de potássio na parte aérea (Figura 15), verifica-se que ocorre diminuição da menor para a maior dose, podendo estar ocorrendo neste caso um efeito de diluição. Por outro lado, associado a esta hipótese, deve-se mencionar que os teores de potássio no solo no tratamento testemunha eram significativamente mais altos que nos tratamentos adubados com fósforo. Ocorreu uma severa diminuição na concentração de potássio na parte aérea do capim-Tifton 85, em relação ao obtido no primeiro crescimento, estando inclusive (nas doses nas doses mais elevadas de P do que 30 mg kg⁻¹) abaixo da faixa ideal de 15 a 30 g kg⁻¹ sugerida por WERNER et al. (1996). COUTINHO et al. (1999) e COUTINHO et

al. (2001) determinaram 17,5 e 14,0 g de K kg⁻¹ como níveis críticos de potássio na parte aérea para o capim-Tifton 68 e o capim-Coastcross. Comparando com os resultados obtidos neste presente estudo, verifica-se que as concentrações de potássio na parte aérea das plantas do capim-Tifton 85 obtidas com a aplicação de fósforo, estão abaixo do nível crítico destas forrageiras.

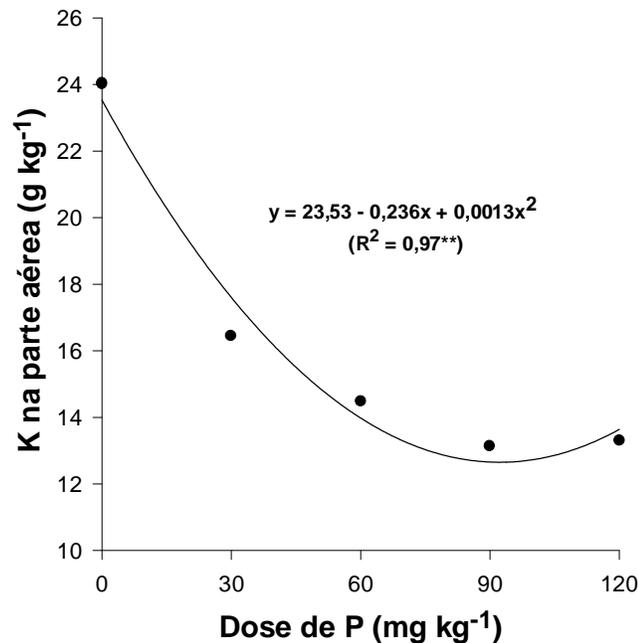


Figura 15- Efeito de doses de fósforo na concentração de potássio na parte aérea do capim-Tifton 85, no segundo crescimento.

Verifica-se, na Tabela 7, que as fontes de fósforo não resultaram em diferenças na concentração de fósforo na parte aérea da forrageira e, através da regressão (Figura 16) obteve-se a concentração máxima 2,5 g kg⁻¹, com a dose de P de 114 mg kg⁻¹. Esta concentração é semelhante à obtida no primeiro crescimento (2,7 g kg⁻¹) e está dentro da faixa de 1,5 a 3,0 g kg⁻¹ considerada adequada para esta gramínea (WERNER et al., 1996). Este resultado corrobora o de FLORES et al. (1990), que ao avaliarem a resposta da Grama-estrela jamaicana à aplicação de doses de fósforo, verificaram, independentemente da dose utilizada, que a concentração máxima de fósforo na parte aérea foi de 2,6 e 2,7 g kg⁻¹, nos dois anos do experimento.

Tabela 7- Efeitos das doses e fontes de fósforo nas concentrações de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e de proteína bruta da parte aérea do capim-Tifton 85, no segundo crescimento.

Fontes de P	P	K	Ca	Mg	Proteína bruta
	-----		g kg ⁻¹	-----	
Arad	2,09 a	15,20 a	4,77 a	3,93 b	14,90 a
Gafsa	2,06 a	13,84 ab	4,83 a	4,00 b	14,85 a
superf. triplo	2,08 a	13,42 b	4,68 a	4,07 b	14,62 a
termof. pó	2,00 a	14,28 ab	4,94 a	4,86 a	14,60 a
termof. grosso	2,08 a	15,02 a	4,90 a	4,68 a	14,66 a
Teste F	0,63**	3,82**	0,72 ^{ns}	8,02**	0,18 ^{ns}
DMS (5%)	0,18	1,56	0,51	0,61	1,34
testemunha	0,70	24,03	4,53	4,03	11,53
Doses de P (mg kg ⁻¹)					
30	1,14	16,44	4,79	4,14	13,02
60	2,28	14,49	4,79	4,32	15,37
90	2,39	13,14	4,85	4,40	15,18
120	2,43	13,31	4,86	4,36	15,33
Teste F	236,32**	19,21**	0,12 ^{ns}	0,67 ^{ns}	14,63**
(F x D)	0,43 ^{ns}	1,26 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,07 ^{ns}
testem. vs. fatorial	219,03**	156,59**	1,27 ^{ns}	0,77 ^{ns}	21,86**
C.V. (%)	7,8	9,1	9,1	12,3	14,6

NS - não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade.

As doses e fontes de fósforo não alteraram significativamente as concentrações de cálcio (Tabela7), estando as mesmas dentro da faixa de 3,0 a 8,0 g kg⁻¹, considerada como ideal (WERNER et al., 1996).

Na concentração de proteína bruta (Tabela 7) não ocorreram diferenças entre as fontes de fósforo. Porém, houve efeito significativo das doses de fósforo na concentração de proteína bruta (Figura 17), como detectado no primeiro crescimento, ocorrendo uma resposta segundo modelo quadrático, onde a máxima concentração (15,6 %) foi obtida com a dose de P de 103 mg kg⁻¹. Resultado semelhante foi obtido por SOUZA et al. (1999) com a forrageira *Brachiaria brizantha* em solo de baixa fertilidade, ao verificarem após 90 dias de crescimento que a adubação fosfatada (nas doses de P de 50; 100; 200 e 300 mg kg⁻¹, na forma de ST) resultou em aumento significativo na concentração de proteína bruta na parte aérea da forrageira.

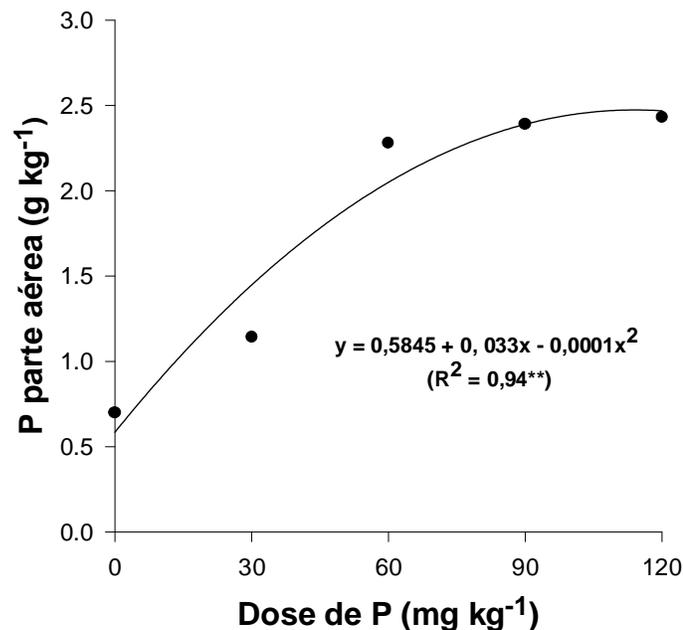


Figura 16- Efeito de doses de fósforo na concentração deste nutriente na parte aérea da plantas do capim-Tifton 85, no segundo crescimento.

Quanto à concentração de Mg na parte aérea da forrageira, constata-se através da Tabela 7, que ambos os termofosfatos resultaram em maior concentração, diferindo estatisticamente das demais fontes de fósforo. Isto ocorre, devido ao maior teor de magnésio no solo (Tabela 6) proporcionado pelos termofosfatos, os quais apresentam magnésio em sua composição. De uma maneira geral, as concentrações de magnésio

estavam acima do limite superior da faixa ideal de 1,5 a 4,0 g kg⁻¹, sugerida para esta forrageira (WERNER et al., 1996).

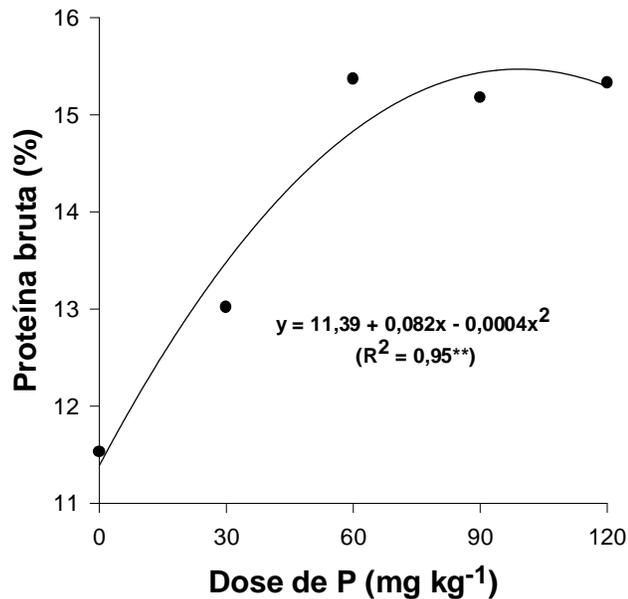


Figura 17- Efeito de doses de fósforo na concentração de proteína bruta na parte aérea das plantas do capim-Tifton 85, no segundo crescimento.

Neste segundo crescimento, o capim-Tifton 85 apresentou respostas significativas para o perfilhamento, em função da adubação fosfatada, com os tratamentos adubados com fósforo diferindo estatisticamente da testemunha (TABELA 8). Isto corrobora os resultados obtidos por WERNER et al. (1967), PASSOS et al. (1997) e RODRIGUES et al. (1999).

Além disso, o aumento nas doses de fósforo proporcionou incrementos significativos no número total e peso individual de perfilhos (Tabela 8), fatores estes determinantes na produção de massa seca da parte aérea (Tabela 5). Por outro lado, como já mencionado anteriormente, em populações de plantas onde existe menor número de perfilhos, podem ocorrer condições mais favoráveis de desenvolvimento (luz, água e nutrientes), gerando perfilhos mais pesados. Este efeito foi observado para os fosfatos de Gafsa e Arad, os quais apresentaram um menor número de perfilhos totais, porém significativamente mais pesados em relação às demais fontes (Tabela 8).

Tabela 8- Efeito de doses e fontes de fósforo no perfilhamento do capim-Tifton 85, no segundo crescimento.

Fontes de P	Número total de perfilhos	Peso/perfilho
		g
Arad	88 b	0,156 a
Gafsa	88 b	0,148 a
superf. triplo	102 a	0,121 b
termof. pó	105 a	0,114 b
termof. grosso	90 b	0,118 b
Teste F	7,81*	13,83**
DMS (5%)	12	0,021
testemunha	36	0,09
Doses de P (mg kg ⁻¹)		
30	86	0,116
60	93	0,125
90	97	0,145
120	103	0,139
Teste F	6,80**	7,96**
(F x D)	1,65 ^{ns}	0,96 ^{ns}
testem. vs. fatorial	91,73**	12,80**
C.V. (%)	11,2	13,9

NS - não significativo; * e ** significativo, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade.

4.3. Terceiro crescimento

Na Tabela 9, constata-se que a adubação fosfatada promoveu incrementos significativos na produção de massa seca de forragem (parte aérea e raízes), com os tratamentos adubados com fósforo diferindo da testemunha. Este resultado mais uma vez comprova a importância da adubação fosfatada para o rendimento desta forrageira.

Verifica-se que as fontes de fósforo não apresentaram diferenças estatísticas entre si (Tabela 9), quanto à produção de massa seca de forragem, mas ocorreram efeitos significativos de doses de fósforo (Figura 18). Através do estudo de regressão

obteve-se a máxima produção neste crescimento (10,68 g/vaso), com a dose de P de 95 mg kg⁻¹.

Tabela 9- Efeitos das fontes e doses de fósforo na produção de massa seca da parte aérea e de raízes do capim-Tifton 85, no terceiro crescimento.

Fontes de P	Massa seca	
	Parte aérea	Raiz
	-----g/vaso-----	
Arad	10,27 a	29,53 cd
Gafsa	9,76 a	25,24 d
superf. triplo	9,52 a	30,92 c
termof. pó	9,43 a	48,90 a
termof. grosso	9,05 a	35,54 b
Teste F	1,50 ^{ns}	68,72**
DMS (5%)	1,48	4,43
testemunha	3,47	7,73
Doses de P (mg kg ⁻¹)		
30	8,18	30,96
60	9,58	30,44
90	10,21	39,40
120	10,46	35,47
Teste F	9,73**	18,37**
(F x D)	0,26 ^{ns}	6,42**
Testem. vs. fatorial	66,81**	137,04**
C.V. (%)	13,6	12,6

NS - não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade.

Observa-se, na Tabela 9, que o Tpó apresentou maior produção de massa seca de raízes, diferindo das demais fontes. A produção máxima de raízes (56,92 g/vaso) foi obtida com a dose de P de 96 mg kg⁻¹, proporcionada pelo Tpó (Figura 19), enquanto que as demais fontes apresentaram produções máximas inferiores (40,71; 33,82; 32,52 e 27,54 g/vaso), respectivamente para o Tgr., Arad, ST e Gafsa, com as doses de P de 89; 85; 85 e 89 mg kg⁻¹. No desdobramento da interação significativa fonte x doses (Figura 19) na produção de massa seca de raízes, verifica-se que o Tpó foi superior às demais fontes em todas as doses utilizadas, porém este fato não se traduziu em maior produção de forragem.

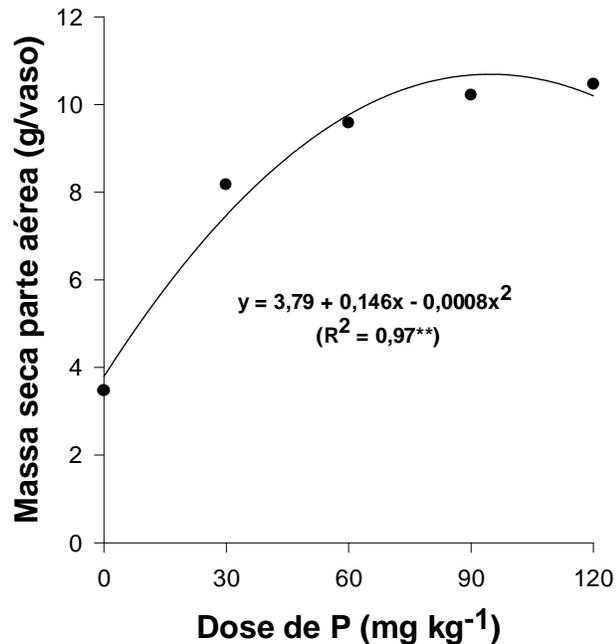


Figura 18- Efeito de doses de fósforo na produção de massa seca da parte aérea do capim-Tifton 85, no terceiro crescimento.

Em relação aos crescimentos anteriores, verificou-se que, para todas as fontes de fósforo, ocorreu uma redução na produção de forragem. Vários pesquisadores, avaliando o efeito residual da adubação fosfatada, verificaram uma redução nos rendimentos das culturas com o decorrer dos cultivos (OLIVEIRA et al., 1984; MACEDO et al., 1985; GOEDERT et al., 1990; STEFANUTTI, 1991; HANAFI & SYERS, 1994; BÜLL et al., 1997; MOREIRA et al., 1997; CAMARGO & SILVEIRA, 1998). A queda na eficiência agrônômica após um determinado período (cortes ou cultivos), está associada à adsorção do fósforo pelos colóides do solo, ocorrendo concomitantemente com a extração deste nutriente pelas plantas.

Os teores de fósforo no solo na ocasião do terceiro corte não apresentaram uma queda significativa (Tabela 10), em relação à amostragem de solo da época do segundo corte (Tabela 6). Apesar de ocorrerem diferenças significativas entre as fontes no teor de fósforo no solo, onde os termofosfatos proporcionaram os menores teores de fósforo, este fato não influenciou a produção de forragem. Por outro lado, ocorreu o

efeito de doses de fósforo no teor deste macronutriente no solo, com uma resposta linear de fósforo no solo à aplicação de doses de fósforo (Figura 20).

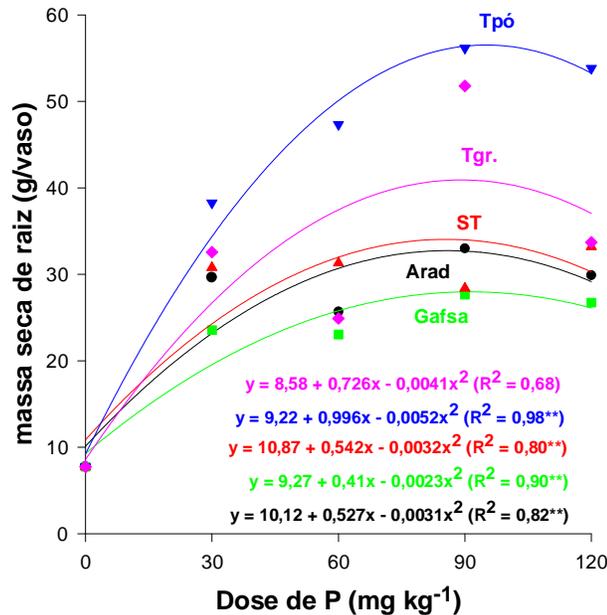


Figura 19- Efeito de fontes e doses de fósforo na produção de massa seca de raízes do capim-Tifton 85, no terceiro crescimento.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 10 verifica-se uma diminuição nos teores de potássio, cálcio, magnésio e na porcentagem de saturação por bases, em todos os tratamentos, além da redução do pH e aumento da acidez potencial do solo (H+Al).

Dentro deste contexto, parece que o fator mais importante foi a diminuição dos teores de potássio no solo, devido à extração pelas plantas. Observou-se, durante os três crescimentos da forrageira, que as produções de massa seca das plantas do tratamento testemunha foram baixas. Assim, a extração de potássio do solo foi menor na testemunha, do que nos tratamentos adubados com fósforo (1,8 contra 0,9 mmol_c dm⁻³). Assim, em função da extração pelas plantas, os teores de potássio no solo decresceram da menor dose de fósforo para a maior dose (Figura 21), atingindo valores baixos. Pode-se inferir através destes dados, que a dose de K de 50 mg kg⁻¹ utilizada após cada corte não foi suficiente para suprir adequadamente o potássio.

Tabela 10- Efeitos das doses e fontes de fósforo no valor pH, na porcentagem de saturação por bases (V%) e nos teores de P, K, Ca, Mg, H + Al, oriundos de amostragem realizada após o terceiro crescimento do capim-Tifton 85.

Fontes de P	pH	P	K	Ca	Mg	H + Al	V
		mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----				%
Arad	4,3 a	27 a	0,9 a	10 a	4 a	32 a	32 a
Gafsa	4,3 a	25 ab	0,8 a	11 a	4 a	31 a	34 a
superf. triplo	4,3 a	25 ab	1,0 a	11 a	4 a	31 a	33 a
termof. pó	4,4 a	15 c	0,9 a	11 a	5 a	29 a	36 a
termof. grosso	4,4 a	20 bc	0,9 a	12 a	5 a	29 a	37 a
Teste F	2,58 ^{ns}	10,83 ^{**}	0,88 ^{ns}	1,52 ^{ns}	1,7 ^{ns}	2,07 ^{ns}	2,54 ^{ns}
DMS (5%)	0,2	6	0,22	2,4	1,2	4	6
testemunha	4,2	3	1,8	9	4	31	32
Doses de P (mg kg ⁻¹)							
30	4,3	9	1,1	10	4	31	33
60	4,3	17	1,0	10	4	31	32
90	4,4	26	0,7	12	5	30	36
120	4,4	37	0,8	12	5	30	37
Teste F	2,70 ^{ns}	87,34 ^{**}	14,59 ^{**}	2,82 ^{ns}	1,15 ^{ns}	0,99 ^{ns}	2,53 ^{ns}
(F x D)	0,89 ^{ns}	1,26 ^{ns}	1,48 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,58 ^{ns}
testem. vs. fatorial	1,61 ^{ns}	40,05 ^{**}	70,75 ^{**}	2,07 ^{ns}	1,06 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,52 ^{ns}
C.V. (%)	3,3	23,6	20,4	19,6	23,2	10,2	14,3

NS - não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade.

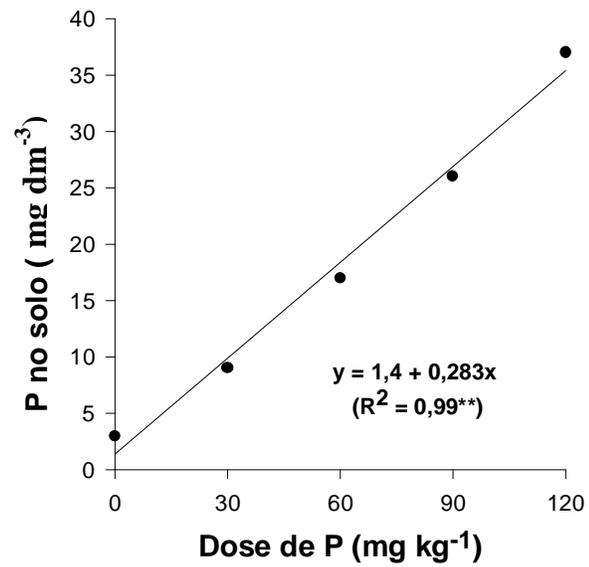


Figura 20- Efeito de doses de fósforo no teor de fósforo no solo, após o terceiro crescimento.

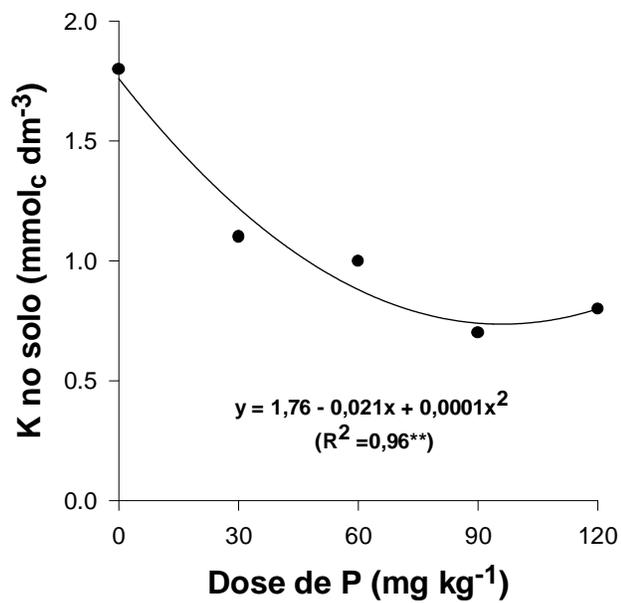


Figura 21- Efeito de doses de fósforo no teor de potássio no solo, após o terceiro crescimento.

Na análise química da parte aérea das plantas do capim-Tifton 85 (Tabela 11), verificou-se que as fontes de fósforo proporcionaram diferenças significativas na concentração de fósforo na parte aérea, com os fosfatos de rocha diferindo das demais fontes.

Constata-se através do desdobramento da interação (Figura 22) que independente da dose de fósforo considerada os termofosfatos proporcionaram os teores mais baixos de fósforo na parte aérea.

Tabela 11- Efeitos das doses e fontes de fósforo nas concentrações de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e proteína bruta na parte aérea do capim-Tifton 85, ao final do terceiro crescimento.

Fontes de P	P	K	Ca	Mg	Proteína bruta
	g kg ⁻¹				%
Arad	2,36 a	12,16 a	4,73 a	3,70 b	13,38 a
Gafsa	2,33 a	11,93 a	4,97 a	3,90 b	13,08 a
superf. triplo	2,20 ab	12,15 a	4,78 a	3,92 b	13,56 a
termof. pó	2,05 b	12,40 a	4,83 a	4,53 a	12,84 a
termof. grosso	2,06 b	12,81 a	4,74 a	4,47 a	13,23 a
Teste F	3,47*	2,16 ^{ns}	0,47 ^{ns}	7,83**	0,55 ^{ns}
DMS (5%)	0,28	0,91	0,57	0,53	1,49
testemunha	0,80	17,16	4,50	3,9	11,36
Doses de P (mg kg ⁻¹)					
30	1,71	14,05	4,72	3,96	11,92
60	2,19	12,93	4,73	4,00	13,20
90	2,37	11,59	4,93	4,20	13,84
120	2,44	11,42	4,85	4,24	13,90
Teste F	27,95**	35,51**	0,66 ^{ns}	1,45 ^{ns}	7,78**
(F x D)	2,08*	0,97 ^{ns}	0,17 ^{ns}	1,29 ^{ns}	0,19 ^{ns}
testem. vs. fatorial	94,17**	109,93**	1,12 ^{ns}	0,55 ^{ns}	5,97*
C.V. (%)	11,4	6,3	10,3	11,2	9,7

NS - não significativo; * e ** significativo, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade.

As máximas concentrações de fósforo na parte aérea (2,6; 2,5; 2,5; 2,4 e 2,4) foram obtidas com as doses de P de 84, 98, 100, 116 e 120 mg kg⁻¹, devidas

respectivamente ao fornecimento de Arad, Gafsa, ST, Tpó e Tgr. Estas concentrações estão dentro da faixa considerada adequada por WERNER et al. (1996), para esta forrageira e corrobora também o resultado obtido por de DIAS et al. (2000) com o capim-Coastcross, onde os autores observaram concentração de 2,6 g de P kg⁻¹.

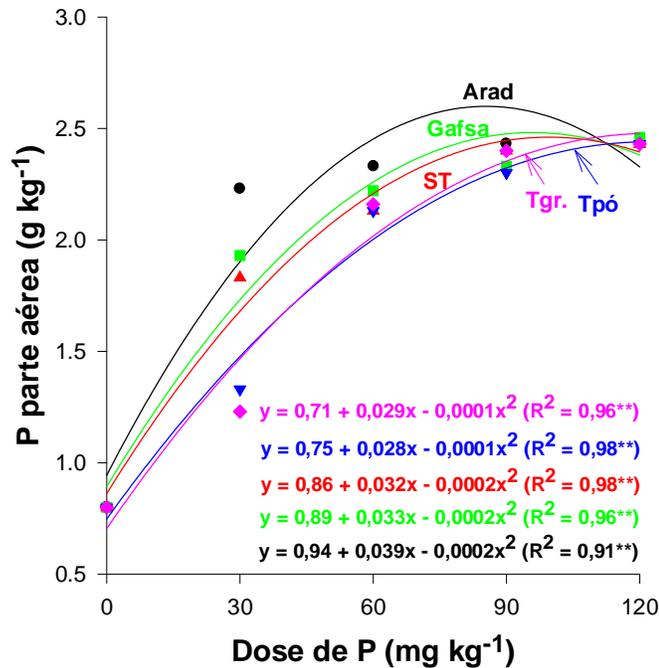


Figura 22- Efeito de doses e fontes de fósforo na concentração deste nutriente na parte aérea das plantas do capim-Tifton 85, ao final do terceiro crescimento.

As fontes de fósforo não interferiram significativamente nas concentrações de potássio na parte aérea das plantas do capim-Tifton 85 (Tabela 11). A concentração de potássio na planta decresceu com os aumentos das doses de fósforo (Figura 23), sendo um reflexo do teor de potássio no solo (Tabela 10). As concentrações deste cátion nas plantas estiveram abaixo dos níveis críticos determinados por COUTINHO et al. (1999) e COUTINHO et al. (2001) para as forrageiras do gênero *Cynodon*, respectivamente de 17,5 (capim-Tifton 68) e 14,0 g kg⁻¹ (capim-Coastcross).

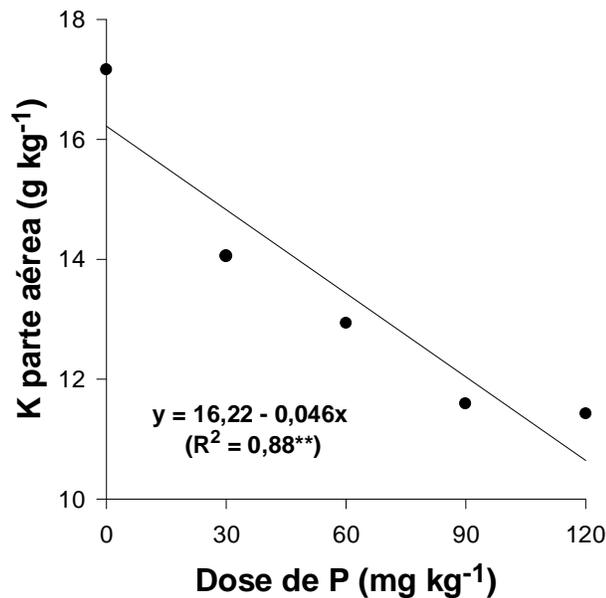


Figura 23- Efeitos de doses de fósforo na concentração de potássio na parte aérea das plantas do capim-Tifton 85, ao final do terceiro crescimento.

Como nos crescimentos anteriores, os termofosfatos propiciaram as maiores concentrações de magnésio na parte aérea das plantas do capim-Tifton 85, diferindo estatisticamente das demais fontes (Tabela 11). As concentrações deste macronutriente no terceiro crescimento estão próximas ou acima do limite superior de 1,0 a 4,0 g kg⁻¹ da faixa considerada adequada por WERNER et al. (1996).

Em relação às concentrações de cálcio, as doses e fontes de fósforo não resultaram em diferenças entre si (Tabela 11), estando as mesmas dentro da faixa de suficiência de 3,0 a 8,0 g kg⁻¹ sugerida por WERNER et al. (1996) e, próximas das concentrações obtidas por SANTANA & McDOWELL (1996), CASTRO et al. (1999), DIAS et al. (2000) e FAGUNDES et al. (2000).

As fontes de fósforo não afetaram significativamente as concentrações de proteína bruta (Tabela 11), mas houve efeito das doses de fósforo na concentração de proteína bruta (Figura 24), ocorrendo uma resposta linear à adubação fosfatada. Este resultado, mais uma vez evidencia o efeito benéfico da adubação fosfatada na absorção de nitrogênio pelas plantas.

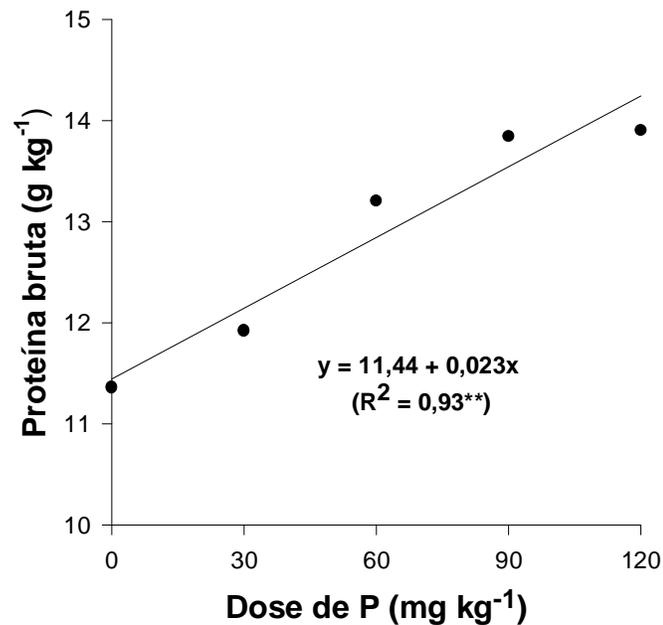


Figura 24- Efeito de doses de fósforo na concentração de proteína bruta na parte aérea do capim-Tifton 85, no terceiro crescimento.

Na Tabela 12, constata-se novamente que o perfilhamento do capim-Tifton 85 foi sensivelmente afetado pelo baixo teor de fósforo do tratamento sem aplicação de fósforo, com os tratamentos com aplicação de fósforo diferindo significativamente da testemunha (sem aplicação de fósforo).

Verifica-se que a produção de massa seca de forragem da parte aérea foi devida ao número total de perfilhos (Tabela 12), pois as fontes de fósforo não apresentaram diferenças significativas quanto ao peso por perfilho (Tabela 12), discordando dos resultados obtidos por MENEZES et al. (2001) com o capim-Tanzânia, CARVALHO et al. (2000) com o capim-coastcross e CARVALHO et al. (2001) com o capim-Florakirk, que não encontraram correlação entre o número de perfilhos e a produção de massa seca destas gramíneas.

Neste crescimento ocorreram efeitos P significativos das doses de fósforo no número total de perfilhos (Figura 25), onde o número máximo de perfilhos (170 perfilhos por vaso) foi obtido com a dose de P de 89 mg kg⁻¹, a qual está próxima da dose de máxima eficiência obtida para a produção de massa seca da parte aérea (95 mg kg⁻¹).

Tabela 12- Efeitos de fontes e doses de fósforo no perfilhamento do capim-Tifton 85, no terceiro crescimento.

Fontes de P	Número total de perfilhos	Peso/perfilho ----- g -----
Arad	146 a	0,073 a
Gafsa	148 a	0,067 a
superf. triplo	167 a	0,056 a
termof. pó	166 a	0,058 a
152 a	0,058 a	
DMS (5%)	22	0,018
Testemunha	60	0,06
Doses de P (mg kg ⁻¹)		
30	143	0,058
60	153	0,062
90	162	0,064
120	163	0,065
Teste F	3,92*	0,99 ^{ns}
(F x D)	0,54 ^{ns}	0,39 ^{ns}
testem. vs. fatorial	75,48**	0,10 ^{ns}
C.V. (%)	12,3	20,0

NS - não significativo; * e ** significativo, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade.

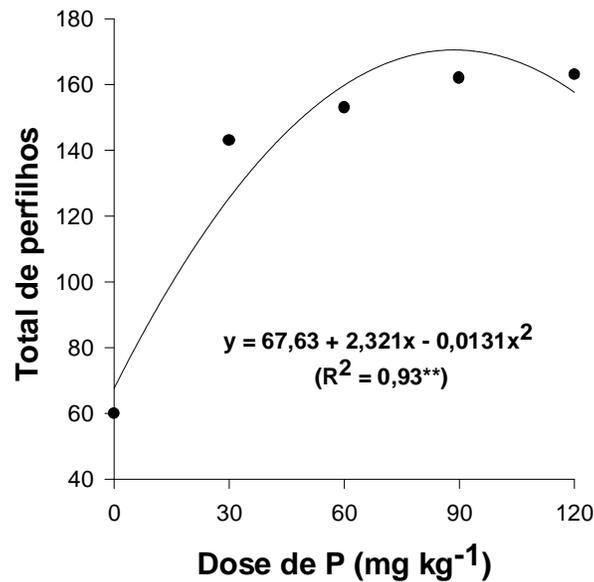


Figura 25- Efeito de doses de fósforo no perfilhamento do capim-Tifton 85, no terceiro crescimento.

4.4. Soma dos crescimentos

Na Tabela 13, verifica-se que a adubação fosfatada promoveu incrementos significativos na produção de massa seca do capim-Tifton 85 na soma dos crescimentos, com os tratamentos que receberam fósforo diferindo da testemunha. O incremento médio na produção de massa seca de forragem devido à aplicação de fósforo em relação ao tratamento sem aplicação de fósforo, foi de 300 % na soma dos crescimentos (Tabela 13). Este comportamento do capim-Tifton 85 em solos com teores muito baixos de fósforo já foi discutido anteriormente.

Na análise dos efeitos das fontes de fósforo, constata-se que o superfosfato triplo foi fonte que proporcionou a maior produção acumulada sem diferir do Tpó, diferindo dos fosfatos de rocha e do termofosfato grosso (Tabela 13). O efeito inicial da fonte solúvel em água e a manutenção do desempenho no decorrer dos crescimentos foram discutidos na análise dos crescimentos anteriores.

Tabela 13- Efeito das fontes de fósforo na produção de massa seca de forragem do capim-Tifton 85, na soma dos crescimentos.

Fontes de P	Massa seca
	parte aérea
	g/vaso
Arad	33,34 bc
Gafsa	31,14 c
superf. triplo	35,21 a
termof. pó	33,83 ab
termof. grosso	30,51 c
Teste F	12,76**
DMS (5%)	2,18
testemunha	8,37
Doses de P (mg kg ⁻¹)	
30	26,81
60	32,00
90	35,32
120	36,29
Teste F	78,27**
(F x D)	1,22 ^{ns}
testem. vs. fatorial	478,40**
C.V. (%)	5,96

NS - não significativo; ** significativo a 1% de probabilidade.

Apesar de proporcionarem efeito residual, os fosfatos de rocha foram estatisticamente inferiores em relação à fonte de referência (ST), o que concorda com

os resultados de GOEDERT & LOBATO (1980), MACEDO et al. (1985), LEON et al. (1986), HANAFI & SYEARS (1994) e ALMEIDA (1998).

O termofosfato magnésiano na forma pó não diferiu da fonte de referência (Tabela 13), o que está de acordo com MACHADO et al. (1983), SANZONOWICZ et al. (1987), COUTO et al. (1989), GOEDERT et al. (1990), FIRME et al. (1990), COUTINHO et al. (1991a), COUTINHO et al. (1991b), NAKAGAWA et al. (1993), NAKAYAMA et al. (1998), PASSOS et al. (1997) e KORNDÖRFER et al. (1999) quanto ao efeito similar do termofosfato em relação aos superfosfatos. Na comparação entre os termofosfatos, a granulometria influenciou os resultados, de tal maneira que o termofosfato grosso foi a fonte de menor eficiência agrônômica na produção de forragem do capim-Tifton 85 (Tabela 13).

Utilizando as equações de regressão (Figura 26) determinou-se que a máxima produção de forragem (41,49 g/vaso) foi obtida com a dose de P de 107 mg kg⁻¹, na forma de superfosfato triplo. As demais fontes apresentaram as seguintes produções máximas: 38,42; 37,33; 35,52 e 32,81 g/vaso, obtidas com as doses de P de 109; 94; 99 e 88 mg kg⁻¹, devidas respectivamente ao Tpó, Arad, Gafsa e Tgr.

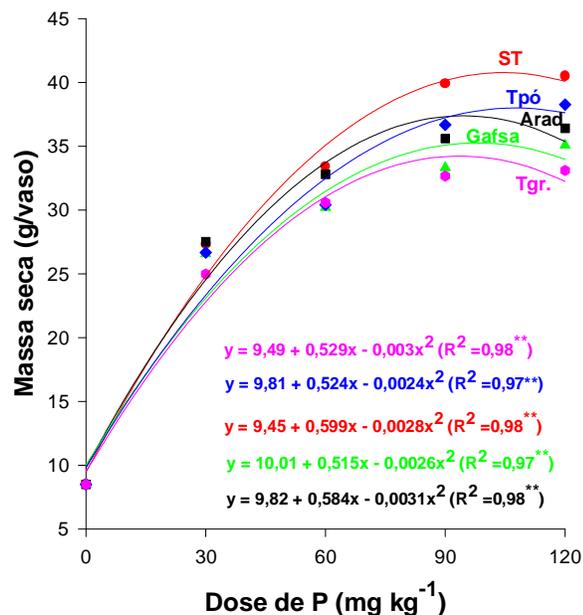


Figura 26- Efeito de fontes e doses de fósforo na produção de forragem do capim-Tifton 85, na soma dos crescimentos.

Em função das variáveis analisadas e dos resultados é bastante sugestivo procurar-se estabelecer o nível crítico de fósforo no solo e na planta. Para a determinação do nível crítico empregou-se o modelo linear descontínuo (“Linear Response Plateau”) descrito por ALVAREZ (1994).

Na Figura 27 a separação das observações em duas populações que definiram os dois segmentos do modelo foi realizada por regressão linear para o primeiro segmento e por cálculo da média para o segundo. Para definir que pontos ficavam no segundo segmento utilizou-se o critério do maior coeficiente de determinação (R^2) para os dois segmentos em conjunto. A concentração de fósforo no solo que correspondeu à intersecção dos dois segmentos do modelo linear descontínuo foi de 18 mg dm^{-3} de P. Este valor representa a concentração no solo, acima da qual é baixa a probabilidade de resposta do vegetal (nível crítico) a adição de P.

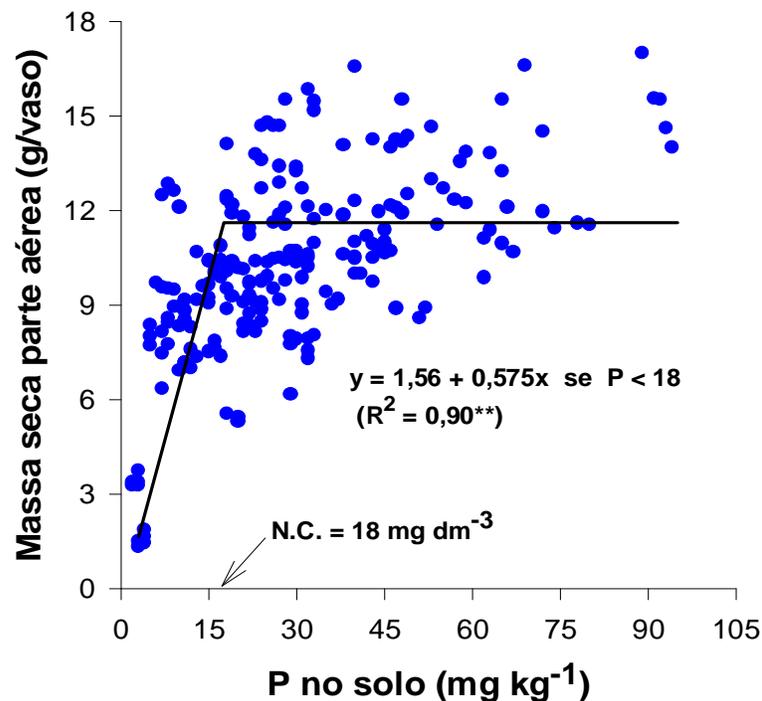


Figura 27- Relação entre as concentrações de fósforo no solo e a produção de massa seca da parte aérea (três crescimentos).

Este valor de nível crítico está um pouco acima do limite superior (7 - 15 mg dm^{-3}) da classe baixa de teores de fósforo no solo, a qual foi estabelecida em ensaios de calibração realizados com culturas anuais em condições de campo (RAIJ et al., 1996), mas que é utilizada para forrageiras na interpretação da análise química do solo (WERNER et al., 1996).

Determinou-se de maneira análoga o nível crítico de fósforo na parte aérea da planta (Figura 28), se relacionado os teores de fósforo no solo com as concentrações de fósforo na planta (três crescimentos). O nível crítico de fósforo na planta foi de 2,40 g kg^{-1} , o qual esteve associado ao teor de fósforo no solo de 18 mg dm^{-3} . Esta concentração de fósforo na planta está dentro da faixa de 1,5 – 3,0 g kg^{-1} considerada adequada para os cultivares de *Cynodom* (WERNER et al., 1996) e, está próxima dos níveis críticos determinados por MESA et al. (1983) e HILLARD et al. (1992) para forrageiras do gênero *Cynodon*, respectivamente de 2,38 (capim-Tifton 68) e 2,2 g kg^{-1} (capim-coastal bermuda).

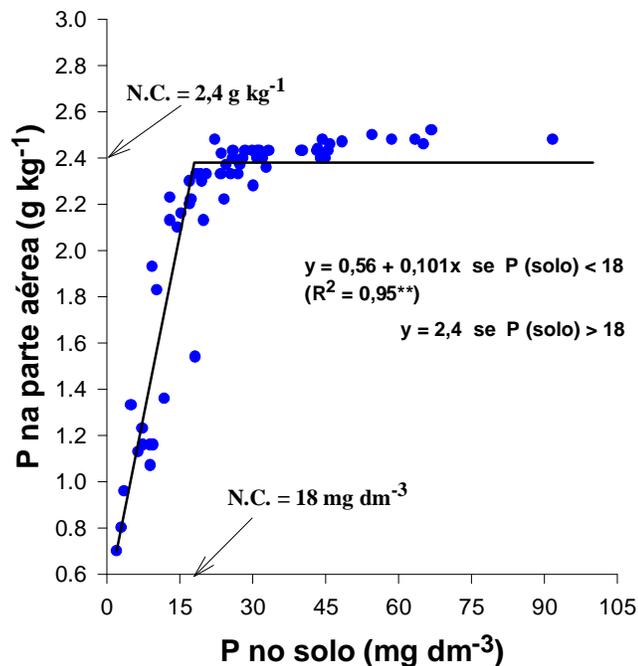


Figura 28- Relação entre os teores de P no solo e as concentrações de fósforo na planta (três crescimentos).

4.5. A avaliação da eficiência agrônômica

Segundo GOEDERT et al. (1986), a tarefa de quantificar a eficiência agrônômica de fontes de nutrientes, especialmente de fósforo, pode induzir a grandes complicações, quando se pretende comparar resultados de diversos pesquisadores. Em vista disto, procurou-se avaliar os resultados deste experimento, por três métodos distintos utilizados por vários autores e, compará-los, na tentativa de homogeneizar estes estudos e ainda se determinar qual o método proporciona a maior confiabilidade.

4.5.1. Índice de eficiência agrônômica (IEA)

Na literatura este índice é o mais utilizado devido seu cálculo ser bastante simples e exigir apenas uma dose de fósforo para a fonte de padrão, não necessitando de uma curva de resposta, e permite o uso de alto número de fontes.

Na Tabela 14, verifica-se que ocorreu a interferência da dose no valor do IEA, para todas as fontes em todas as avaliações realizadas. Assim, no primeiro crescimento o fosfato Arad na dose de P de 30 mg kg^{-1} proporcionou um IEA de 51 %, enquanto que na dose de 90 mg kg^{-1} este índice foi de 71%. Índices diferentes em função da dose utilizada, também foram obtidos por SANZONOWICZ et al. (1987), que ao estudarem várias fontes de fósforo, obtiveram um IEA de 1% para o fosfato natural de Araxá, empregado na dose de P_2O_5 de 38 kg ha^{-1} , enquanto que na dose de P_2O_5 de 600 kg ha^{-1} este índice foi de 88%. Este aumento expressivo deve-se ao fato de se aplicar uma quantidade elevada de fósforo, acabando-se por satisfazer as exigências da cultura, mas, na realidade não reflete com precisão o efeito desta fonte em outras doses. Em outros trabalhos também é possível constatar a influência da dose no IEA (CHIEN & HAMMOND, 1978; GOEDERT & LOBATO, 1980; GOEDERT & LOBATO, 1984; NAKAYAMA et al., 1998).

Tabela 14. Índice de eficiência agrônômica (IEA), tendo superfosfato triplo como fonte de referência.

Fósforo		Crescimento			Soma dos crescimentos
Fonte	Doses mg kg ⁻¹	1º	2º	3º	
		-----IEA %-----			
Arad	30	51	149	151	94
	60	65	136	106	96
	90	71	94	103	86
	120	69	99	105	85
Gafsa	30	64	129	124	95
	60	64	116	92	84
	90	55	93	102	81
	120	57	103	105	83
termof. pó	30	78	115	114	100
	60	90	79	95	92
	90	88	90	92	94
	120	80	106	99	95
termof. grosso	30	84	86	99	86
	60	89	86	92	89
	90	72	75	90	79
	120	70	77	92	78
superf. triplo	30	100	100	100	100
	60	100	100	100	100
	90	100	100	100	100
	120	100	100	100	100

Segundo GOEDERT et al. (1986) o cálculo do IEA se baseia em duas premissas nem sempre totalmente válidas, ou seja, a de que a quantidade de P nativo extraído é igual para todos os tratamentos, e de que a resposta à adição de fósforo é linear. No tocante a segunda premissa, ela não foi válida neste experimento, uma vez que dentro da mesma fonte de fósforo o índice variou com as doses do macronutriente. Assim, os valores de eficiência agrônômica calculados dessa maneira devem ser interpretados com cautela, uma vez que a utilização inadequada de uma dose poderá condenar ou incentivar prematuramente um fertilizante fosfatado.

4.5.2. Equivalente em superfosfato triplo (Eq ST)

Embora seja mais trabalhoso, este indicador tem a vantagem de atenuar às limitações discutidas para o IEA, sendo teoricamente um índice mais preciso (GOEDERT et al., 1986).

Na Tabela 15, encontram-se os resultados obtidos por este método. É possível se verificar que a variação das doses também influenciou os resultados deste índice (EqST). Assim, para o termofosfato pó no 1º crescimento, quando este índice foi aplicado na dose de P de 30 mg kg⁻¹, proporcionou um valor do EqST igual a 83%, enquanto que na dose de P de 120 mg kg⁻¹, este valor foi bem inferior, sendo igual a 44%.

Trabalho conduzido por GOEDERT & LOBATO (1984), onde foram utilizadas doses das fontes teste, situadas no meio da curva de resposta da fonte padrão (doses de P: 0; 44; 88; 175; 350 e 700 kg ha⁻¹), os autores também obtiveram variações significativas nos valores do EqST. O termofosfato IPT na dose de P de 88 kg ha⁻¹ apresentou um EqST igual a 45%, porém, quando se aplicou 350 kg ha⁻¹ de P este valor foi igual 76%. No trabalho de KORNDÖRFER et al. (1999) não se verificaram diferenças significativas nos valores do EqST para as fontes testadas nas doses de P₂O₅ de 100 e 200 kg ha⁻¹, os quais foram 59-61% e 92-103% para o Arad e o Gafsa, respectivamente.

É nítida a importância de se escolher as doses (na literatura, dose única é mais comum) mais apropriadas, as quais não devem se localizar em porções diferentes da curva de resposta. Segundo GOEDERT et al. (1986), no Brasil esta questão é a principal causa de confusões e problemas na interpretação dos resultados experimentais. A escolha de doses muito baixas ou muito altas podem invalidar as conclusões.

Apesar do EqST ser considerado um índice mais preciso, no presente experimento a sua validade é duvidosa, uma vez que a premissa desse método não foi observada, ou seja, a relação X_1/X_2 não foi igual para o intervalo compreendido pela curva de resposta da fonte de referência.

Tabela 15. Equivalente em superfosfato triplo (EqST).

Fósforo		Crescimentos			Soma dos crescimentos
Fontes	Doses	1º	2º	3º	
----- IEA % -----					
Arad	30	50	190	203	98
	60	50	145	130	92
	90	45	100	>100	78
	120	36	>100	>100	51
Gafsa	30	54	153	147	87
	60	48	108	92	79
	90	37	127	>100	67
	120	25	>100	>100	47
termof. pó	30	83	87	130	89
	60	79	85	96	85
	90	66	89	87	70
	120	44	>100	57	60
termof. grosso	30	82	82	92	85
	60	73	75	88	77
	90	56	65	76	63
	120	33	49	50	42
superf. triplo	30	100	100	100	100
	60	100	100	100	100
	90	100	100	100	100
	120	100	100	100	100

Foi verificada, uma outra limitação no método, a qual pode ser observada no segundo crescimento (Tabela 15) para os fosfatos Arad, Gafsa e termofosfato pó, quando utilizados na dose de P de 120 mg kg⁻¹. Devido ao fato da produção de massa

seca (parte aérea) proporcionada por essas fontes extrapolar o intervalo compreendido pela curva de resposta da fonte referência, o EqST destas fontes, para esta dose, fica sem um valor absoluto, sendo expresso na forma $> 100 \%$.

4.5.3. Comparação de curvas de resposta (EqST médio)

A estratégia para solucionar os problemas do EqST mencionados anteriormente, é a obtenção e a comparação de curvas de resposta completas para todas as fontes, utilizando a curva de resposta do ST como referência (GOEDERT et al., 1986).

Pelos resultados da Tabela 16, pode-se verificar que este método apresenta uma boa confiabilidade, visto que não sofre a influência da dose utilizada, como nos outros dois índices. Isto se deve ao fato de se considerar, principalmente, a parte das curvas de maior resposta à adição de fósforo. Poucos trabalhos são encontrados na literatura, onde se empregou esta metodologia.

Tabela 16. Índice de eficiência comparativa média, tendo o ST como fonte de referência (EqST médio).

Fontes de P	Crescimento			Soma dos Crescimentos
	1º	2º	3º	
	-----EqST médio-----			
	%			
Arad	51	92	99	75
Gafsa	31	96	101	65
termof. pó	71	93	89	82
termof, grosso	51	57	90	59
superf. triplo	100	100	100	100

Os resultados apresentados na Tabela 16, no tocante ao termofosfato pó, discordam dos obtidos por COUTINHO et al. (1991a) e COUTINHO et al. (1991b) em trabalhos realizados em condições de campo. Os autores obtiveram, no primeiro ano agrícola, índice EqST médio muito superior ao verificado neste experimento no primeiro

crescimento. Entretanto, quando se considerou o efeito residual desta fonte de fósforo, os índices obtidos pelos autores citados anteriormente foram muito próximos ao do presente trabalho.

Mas, com relação ao fosfato natural de Gafsa, os resultados corroboram os de COUTINHO et al. (1991a) e COUTINHO et al. (1991b), onde o EqST médio, foi igual a 48% e 88% (a) e 58% e 92% (b), respectivamente para o 1º e 2º ano agrícolas, e neste presente estudo o fosfato de Gafsa apresentou um índice de 31% e 96%, respectivamente para o 1º e 2º crescimentos, ou seja, um efeito inicial baixo, mas com um efeito residual significativo, não diferindo da fonte de referência.

Entre os três métodos de cálculo do índice de eficiência agrônômica, este é o que apresenta maior segurança.

4.6. Avaliação da eficiência econômica relativa

Segundo MACEDO et al. (1985) dois aspectos básicos devem ser considerados na comparação de fosfatos de rocha com fosfatos solúveis em água: a resposta imediata e o efeito residual. Geralmente a eficiência da fonte solúvel em água é alta nos primeiros cultivos, decrescendo com o tempo. Segundo GOEDERT & LOBATO (1984), esta eficiência nos primeiros anos (ou cultivos), será um fator importante na análise econômica, principalmente porque este diferencial inicial poderá não ser compensado com o passar do tempo. Assim, o efeito residual do fosfato natural só será promissor se as perdas econômicas iniciais foram mínimas.

Na Tabela 17 são apresentadas as devidas informações para se calcular o índice de eficiência econômica relativa.

Na Tabela 18 são apresentados os valores de eficiência econômica relativa. Por estes resultados é possível verificar que, no primeiro crescimento o ST além de proporcionar os melhores rendimentos físicos de forragem, ele foi o mais efetivo economicamente. Porém, a partir do segundo crescimento os fosfatos reativos foram mais viáveis do ponto de vista da EER, com destaque para o fosfato natural Arad, que foi 42% mais econômico que o superfosfato triplo.

Tabela 17. Informações para o cálculo da eficiência econômica relativa (EER) das diferentes fontes de fósforo.

Fontes de P	Preço do fertilizante*	Teor total de P ₂ O ₅	Preço/kg de P ₂ O ₅	Preço do kg de P ₂ O ₅ (ST)/ preço do kg de P ₂ O ₅ (fonte teste)
	R\$/ t	%	R\$	
Arad	415,00	34,33	1,21	1,54
Gafsa	415,00	29,10	1,43	1,31
superf. triplo	786,00	42,10	1,87	-----
termof. pó	403,00	18,0	2,24	0,83
termof. grosso	403,00	18,0	2,24	0,83

* Os valores comerciais de cada fonte, foram obtidos através de comunicação pessoal com as firmas revendedoras, da região de Ribeirão Preto- SP, no dia 03/10/2002, quando o dólar comercial era cotado em R\$ 3,59.

Tabela 18. Índice de eficiência econômica relativa (EER) para as fontes de fósforo.

Fontes de P	Crescimento			Soma dos Crescimentos
	1º	2º	3º	
	-----EER (%)-----			
Arad	79	142	152	116
Gafsa	41	126	132	85
termof. pó	59	77	74	68
termof. grosso	42	47	75	49
superf. triplo	100	100	100	100

Na análise final do experimento (soma dos crescimentos), a única fonte que garantiu eficiência econômica relativa eficaz (> 100 %), foi o fosfato natural Arad, que proporcionou uma EER igual a 116%, mostrando que em estudos sobre o efeito de fontes de fósforo é importante considerar-se não somente o efeito inicial do fertilizante,

mas também o seu efeito residual. Nota-se ainda, que o custo/benefício é de extrema importância para se avaliar o comportamento de fontes, pois apesar do termofosfato pô ter apresentado um bom índice de EqST médio, economicamente ele não foi tão efetivo, principalmente, devido ao alto custo de um quilograma de P_2O_5 (R\$ 2,24).

4.7. Dinâmica do perfilhamento

Apesar de terem ocorrido efeitos significativos de doses de fósforo no número total de perfilhos do capim-Tifton 85 (Tabelas 4, 8 e 12). Na avaliação da dinâmica do perfilhamento este efeito não foi observado independente da fonte, em todo período experimental (Figuras 29, 31 e 32).

Verifica-se na Figura 29, que apenas no primeiro crescimento ocorreram diferenças entre as fontes de fósforo na dinâmica do perfilhamento. Constando-se que os fosfatos de rocha apresentaram maior participação de perfilhos principais na densidade populacional, enquanto nas demais fontes de fósforo existe maior equilíbrio entre as gerações de perfilhos. Tal fato pode ser explicado devido à baixa eficiência agrônômica inicial dos fosfatos de rocha, devido à menor liberação de fósforo para o solo destas fontes, ocorre um retardamento na emissão de folhas dos perfilhos principais, e com isso o perfilhamento é retardado nestas plantas (RODRIGUES et al., 1999). Isto fica mais evidente na dinâmica do perfilhamento do tratamento sem aplicação de fósforo (Figura 30), onde a ocorrência de perfilhos principais é muito maior em relação aos tratamentos que receberam fósforo, independente da fonte considerada.

No segundo e terceiro crescimentos não ocorreram diferenças entre as fontes de fósforo e a testemunha na dinâmica do perfilhamento, sendo esta representada pela média de todos os tratamentos.

Constata-se na Figura 31, que o número de perfilhos por geração apresentou redução na participação dos perfilhos principais na densidade populacional da forrageira, com o aumento dos perfilhos primários e secundários, e o surgimento de perfilhos terciários.

No terceiro crescimento (Figura 32), ocorreu redução na porcentagem de perfilhos principais e primários, com os perfilhos secundários aumentando sua ocorrência na população de planta.

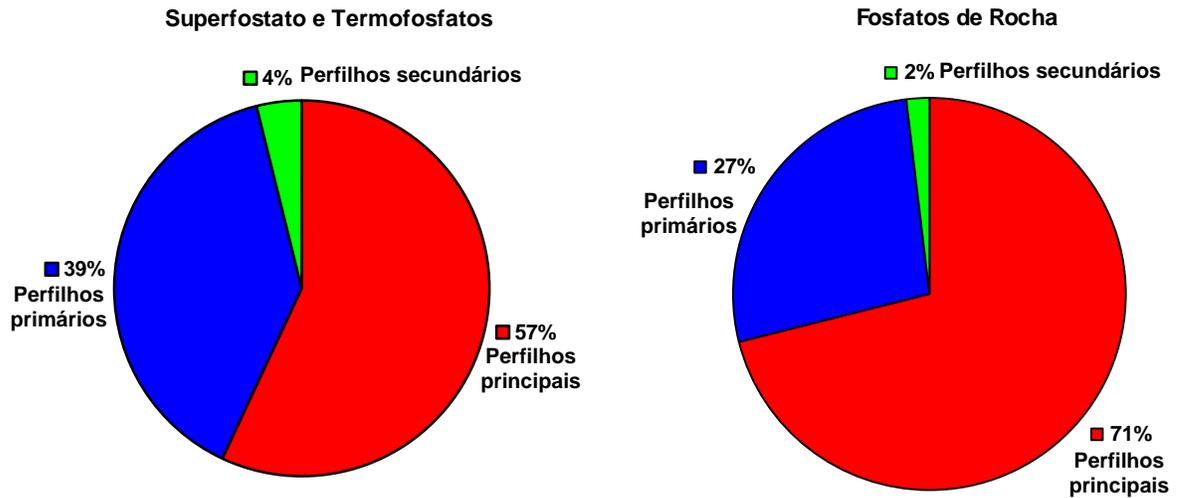


Figura 29- Dinâmica do perfilhamento durante o primeiro crescimento dos tratamentos com aplicação de fósforo.

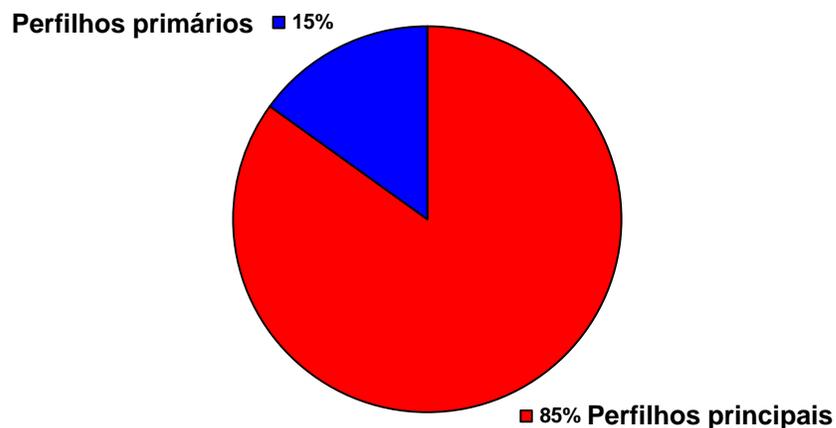


Figura 30- Dinâmica do perfilhamento durante o primeiro crescimento do tratamento sem aplicação de fósforo.

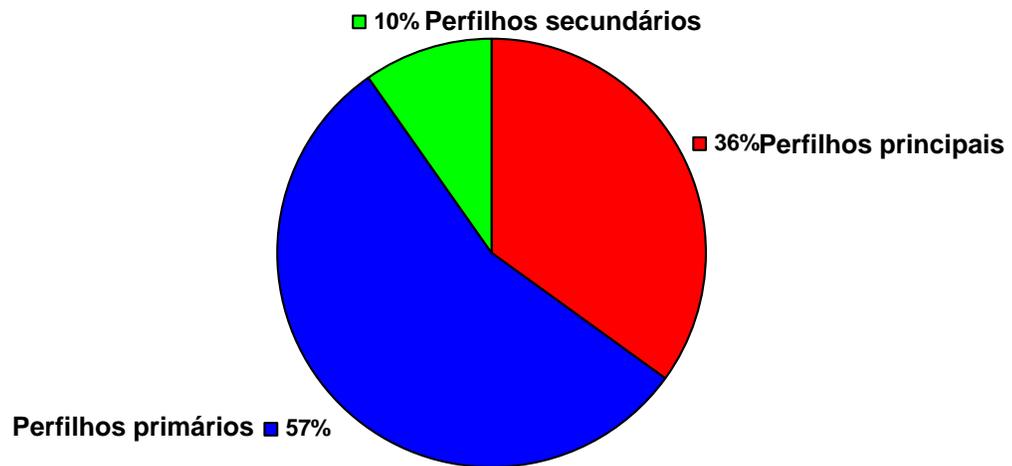


Figura 31- Dinâmica do perfilhamento durante o segundo crescimento.

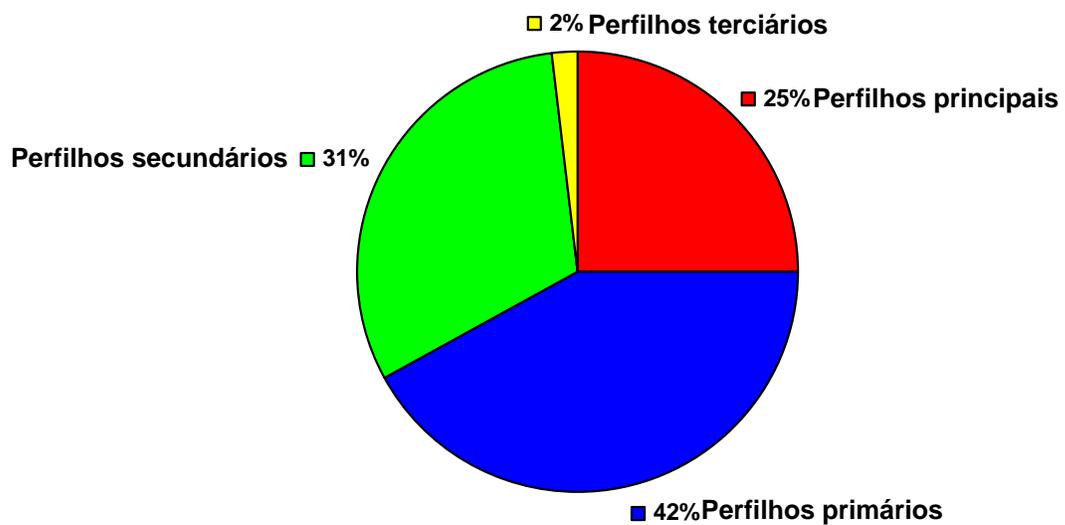


Figura 32- Dinâmica do perfilhamento durante o terceiro crescimento.

5. CONCLUSÕES

A adubação fosfatada promoveu aumentos significativos na produção de massa seca (parte aérea e raízes) e no perfilhamento do capim-Tifton85, em todo período experimental.

A adubação fosfatada promoveu incrementos significativos no teor de fósforo no solo, os quais diminuiram com o decorrer do experimento.

A concentração de fósforo e de proteína bruta na parte aérea do capim-Tifton 85 foram incrementados com a adubação fosfatada.

Os níveis críticos de fósforo no solo e na planta foram 18 mg dm^{-3} e $2,4 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente.

Não se verificou vantagem significativa em se aplicar doses de P maiores do que 90 mg kg^{-1} .

O método de EqST médio foi o que melhor avaliou os resultados de eficiência agrônômica das fontes de fósforo.

No estudo de fontes de fósforo deve-se obter a curva de resposta completa de cada fonte e principalmente avaliar o seu efeito residual.

O fosfato natural Arad foi à única fonte de fósforo que superou a fonte de referência (ST) em termos econômicos na soma dos crescimentos.

6. REFERÊNCIAS

ALCARDE, J. C.; PONCHIO, C. O. A ação solubilizante das soluções de citrato de amônio e de ácido cítrico sobre fertilizantes fosfatados. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 3, p. 173-178, 1979.

ALCARDE, J. C.; PONCHIO, C. O. Caracterização das solubilidades das rochas fosfatadas brasileiras e termofosfatos em diferentes extratores químicos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 4, p. 196-200, 1980.

ALCARDE, J. C.; GUIDOLIN, J. A.; LOPES, A. S. **Os adubos e a eficiência das adubações**. 3.ed. São Paulo: ANDA, 1998. 35p.

AL-KARAKI, G. N. Rhizobium and phosphorus influence on Lentil seed protein and lipid. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 22, p. 351-358, 1999.

ALMEIDA, N. C. da S. **Avaliação da eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para o *Panicum maximum* Jacq. cv. Mombaça. Jaboticabal-SP. 1998. 44f. Trabalho de Graduação (Agronomia) – FCAV- UNESP, JABOTICABAL-SP, 1998.**

ALVAREZ, V. H. V. **Avaliação da fertilidade do solo (superfícies de resposta-modelos aproximativos pra expressar a relação fator-resposta)**. 3^o ed. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, Viçosa-MG, 1994, 75p.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. Jaboticabal: Funep, 1995. p. 247.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. Métodos de análise química de plantas. **Boletim Técnico Agronomico**, Campinas, n. 78, p.1-48, 1983.

BELTRÁN, R. R.; SILVEIRA, R. I.; PASSOS, M. J. Disponibilidade de fósforo para plantas de arroz avaliada por extratores químicos. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, p. 233-241, 1998.

BRAGA, N. R.; MASCARENHAS, H. A. A.; BUSILANI, E. A.; RAIJ, V. van; FEITOSA, C. T.; HIROCE, R. Eficiência agronômica de nove fosfatos em quatro cultivos consecutivos de soja. . **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 15, p. 315-319, 1991.

BÜLL, L.T.; LACERDA, S.; NAKAGAWA, J. Termofosfatos: alterações em propriedades químicas em um latossolo vermelho-escuro e eficiência agronômica. **Bragantia**, Campinas, v. 56, p. 169-179, 1997.

BURTON, G. W.; MONSON, W. G. Registration of "Tifton 85" bermudagrass. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 644-645, 1993.

CABALA-ROSAND, P.; SANTANA, M. B. Influência do tempo de contato e valor fertilizante de fontes fosfatadas em solos do sul da Bahia. **Revista Theobroma**, Itabuna, v. 16, p. 1-15, 1986.

CALVO, R. M.; ORTIZ, G. Efecto Del N P K en pasto estrella (*Cynodon nlemfuensis* cultivares jamaicano y Tocumen) bajo condiciones de secano ciego de Avila, **Pastos y Forrajes**, v. 10, p. 35-42, 1987.

CAMARGO, M. S. de; SILVEIRA, R.I. Efeito dos fosfatos naturais Alvorada, Catalão, Patos e Arad na produção de massa seca de milho em casa-de-vegetação. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, p. 509-519, 1998.

CARAMORI, T. D. A. **Acúmulo de fósforo e crescimento de Tanzânia-1 em função de fontes e níveis de fósforo e calagem, em dois Latossolos de Dourados-MS.**

2000. 62f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Dourados-MS, 2000.

CARVALHO, M. M. Melhoria da produtividade das pastagens através da adubação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 11, p. 23-32, 1985.

CARVALHO, C. A. B. de.; SILVA, S. C. da; CARNEVALLI, R. A.; SIBRISSIO, A. F.; PINTO, L. F. de M.; FAGUNDES, J. L.; PEDREIRA, C. G. S. Perfilamento e acúmulo de forragem em pastagens de Florakirk (*Cynodon* spp.) sob pastejo. **Boletim da Industria Animal**, Nova Odessa, v. 57, p. 39-51, 2000.

CARVALHO, C. A. B. de.; SILVA, S. C. da; SIBRISSIA, A. F.; PINTO, L. F. de M.; CARNEVALLI, R. A.; FAGUNDES, J. L.; PEDREIRA, C. G. S. et al. Demografia do perfilamento e acúmulo de matéria seca em coastcross submetido a pastejo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 567-575, 2001.

CASTRO, F. G. F., HADDAD, C. M.; VIEIRA, A. C.; VENDRAMINI, M. B.; HEISECKE, O. R. P. Época de corte, produção, composição químico-bromatológica e digestibilidade da matéria seca da grama-estrela Florico. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, p. 225-233, 1999.

CHIEN, S. H. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock: A general review. In: **International Meeting on direct application of the phosphate rock and related technology: Latest developments and practical experiences**, 2001, Kuala-Lumpur, Malasia.

CHIEN, S. H.; HAMMOND, L. L. A comparison of various laboratory methods for predicting the agronomic potential of phosphate rocks for direct application. **Soil Science Society of American Journal**, v. 42, p. 935-939, 1978.

COUTINHO, E. L. M.; NATALE, W.; STUPIELO, J. J.; CARNIER, P. E. Avaliação da eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho. **Científica**, São Paulo, v. 19, p. 93-1104, 1991a.

COUTINHO, E. L. M.; NATALE, W.; VILLA NOVA, A. S.; SITTA, D. S. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados para a cultura da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 1393-1399, 1991b.

COUTINHO, E. L. M.; COSSOLINI, F; ANDRADE, L. R. de, Adubação nitrogenada e potássica em pastagem irrigada de Tifton 68. Efeitos no solo, na planta e na produção de matéria seca. In: **CONGRESO LATINOAMERICANO DE LA CIENCIA DEL SUELO**, 14., 1999. Temuco-Chile, p. 366.

COUTINHO, E. L. M.; COSSOLINI, F; ANDRADE, L. R. de; NATALE, W. Efeitos da adubação nitrogenada e potássica em pastagem na produção de matéria seca e na composição mineral do capim Coastcross irrigado. In: **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, 38., 2001, Piracicaba-SP. **Anais...** Piracicaba:SBZ, 2001. p. 299-300.

COUTO, W.; LEITE, G.; SANZONOWICZ, C. The effectiveness of three phosphorus sources for pasture fertilization in a Cerrado soil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 24, p. 423-430, 1989.

CUNHA, J. F. da; VENTIMIGLIA, A. F. C. Avaliação da solubilização de fosfatos naturais. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIAS DO SOLO**, 28., 2001. Londrina, CD-Rom.

DANIEL, O.; VITORINO, A. C. T.; ALOVISI, A. A.; MAZZOCHIN, L.; TOKURA, A. M.; PINHEIRO, E. R.; SOUSA, E. F. de, Crescimento de mudas de *Acacia mangium* Willd

em resposta à aplicação de diferentes fontes de fósforo. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 21, p. 323-327, 1997.

DAY, J. L.; PARKER, M. B. Fertilizer effects on crop removal of P and K in "Coastal" Bermudagrass forage. **Agronomy Journal**, Madison, v. 77, p. 110-114, 1985.

DIAS, P. F.; ROCHA, G. P.; FILHO, R. R. R.; LEAL, M. A. de A.; ALMEIDA, D. L. de; SOUTO, S. M. Produção e valor nutritivo de gramínea forrageiras tropicais, avaliadas no período das águas, sob diferentes doses de nitrogênio. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 24, p. 260-271, 2000.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de informação, 1999. 412p.

FAGUNDES, J.L.; HADDAD, C. M.; ROSSI, C.; HEISECKE, O. R. P. Produção, teores e acúmulo de macronutrientes na parte aérea de Tifton 68 (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst) em função da idade de corte na época de inverno. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v. 24, p. 794-803, 2000.

FAQUIM, V.; PASSOS, R. R.; VILLA, M. R.; CURTI, N.; EVANGELISTA, A. R. Absorção e acumulação de nutrientes por gramíneas forrageiras sob influência de fontes de fósforo e correção do solo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, p. 219-226, 1997.

FEITOSA, C. T.; RAIJ, B. van; DECHEN, A. R.; ALCARDE, J. C. Determinação preliminar da eficiência relativa de fosfatos, para trigo, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 2, p. 193-195, 1978.

FERREIRA, T.N.; KAMINSKI, J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais de Patos-de-Minas e Gafsa puros e modificados por acidulação e calcinação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 3, p. 158-162, 1979.

FIRME, D.J.; RIBEIRO, A. C.; COSTA, L. M. da; BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de, Enriquecimento e fusão de escória de siderurgia com fosfato natural. II. Testes biológicos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 14, p. 249-259, 1990.

FLORES, E.; PACHECO, O.; CURBELO, R.; PEREZ, O. Respuesta del pasto estrella jamaicano a dosis crecientes de fertilizante fosfórico. **Suelos y Agroquímica**, La Habana, v. 13, p. 35-42, 1990.

FREITAS, L. M. M.; JORGE, J. de P. N. Resposta de capim-swanne-bermuda à aplicação de nitrogênio, fósforo e enxofre em região de cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 6, p. 195-202, 1982.

GILLON, I.; REINHORN, T.; SEMIAT, R.; HAGIN, J. Evaluation of granulated phosphate rock for direct application. In: **SEMINAR ON PHOSPHATE ROCK FOR DIRECT APPLICATION**, 1978, Haifa-Israël, **IFDC**, p. 378-394.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Eficiência agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 15, p. 311-318, 1980.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 8, p. 97-102, 1984.

GOEDERT, W.J.; SOUZA, M.G. de; REIN, T.A. **Princípios metodológicos para avaliação agronômica de fontes de fósforo**. Planaltina, Embrapa-CPAC, 1986. 23p.

GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUSA, M.G. de, Eficiência agrônômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 521-530, 1990.

HAGIN, J.; REINHORN, T.; AXELROD, S. Effect of grinding on Arad phosphate rock availability. In: **SEMINAR ON PHOSPHATE ROCK FOR DIRECT APPLICATION**, 1978, Haifa-Isrrael, **IFDC**, p. 395-401.

HANAFI, M.M.; SYERS, J. K. Agronomic and economic effectiveness of two phosphate rock materials in acid Malaysian soils. **Tropical Agriculture**, Trinindad, v. 71, p. 254-259, 1994.

HERNÁNDES, M.; CÁRDENAS, M. Respuesta de la bermuda cv. Coastcross-1 a niveles de N P K. **Pastos y Forrajes**, v. 6, p. 241-253, 1983.

HERNÁNDES, M.; CÁRDENAS, M. Respuesta del pasto estrella jamaicano a niveles de N P K en un suelo Ferralítico Cuarcítico. **Pastos y Forrajes**, v. 13, p.273-277, 1990.

HILLARD, J. B.; HABY, V. A.; HONS, F. M. Effects of limestone and phosphorus on nutrient availability and Coastal bermudagrass yield on an Ultisol. **Communication of Soil Science and Plant. Analyses**, Monticello, v. 23, p. 175-188, 1992.

JACKSON, J. E.; WALKER, M. E.; CARTER, R. L. Nitrogen, phosphorus, and potassium requirements of Coastal Bermudagrass on a Tifton loamy sand. **Agronomy Journal**, Madison, v.51, p.129-131, 1959.

JONES, W. F.; WATSON, V. H. Applied phosphorus and potassium effects on yield of dallisgrass- bermudagrass pastures. **Journal of Plant Nutrition**, Monticello, v. 14, p. 585-597, 1991.

KALMBACHER, R. S.; MARTIN, F. G.; RECHCIGL, J. E. Effect of N – P – K fertilization on yield and tiller density of creeping bluestem. **Journal of Range Management**, Denver, v. 46, p. 452-457, 1993.

KAMINSKI, J.; MELLO, F. A. F. de Época de aplicação de fosfatos em relação ao calcário no suprimento de fósforo ao sorgo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 8, p. 297-300, 1984.

KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; PESSOA, A. C. S.; CASSOL, L. C.; SANTOS, A. C. Avaliação da eficiência agronômica de termofosfato magnésiano em função da granulometria. II: Leguminosas forrageiras. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** p.250-251.

KORNDÖRFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W.A. HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, p. 391-396, 1999.

LÉON, L.A.; FENSTER, W.E.; HAMMOND, L.L. Agronomic potential of eleven phosphate rock from Brazil, Colombia, Peru, and Venezuela. **Soil Science Society of Americam Journal**, Madison, v. 50, p. 798-802, 1986.

MACEDO, W. Efeito de fontes e níveis de fósforo e calcário na adubação de forrageiras em solos do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, p. 643-657, 1985.

MACEDO, W.; GONÇALVES, J.O.N.; GIREARDI-DEIRO, A. M. Melhoramento de pastagem natural com fosfato e introdução de leguminosas em solo da fronteira oeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.9, p. 231-235, 1985.

MACHADO, M. O.; VIANNA, A. C. T.; CASALINHO, H. D. Calcário e fontes e doses de fósforo: influência no rendimento da soja e na química do solo Pelotas (Alfissolo). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 721-727, 1983.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2^o ed. San Diego. 1993, 889p.

MAYA, F. L. A.; CABRAL, S. B.; SANTOS, P. M.; CORSI, M. Determinação da produção de matéria seca ao longo do estabelecimento do capim Tanzânia ("Panicum maximum" Jacq.): densidade populacional de perfilhos x massa por perfilho. In: **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, 38., 2001, Piracicaba-SP. **Anais...** Piracicaba:SBZ, 2001. p. 143-144.

MENEZES, M. J. T.; JÚNIOR, G. B. M.; PENATI, M. A.; NETO, F. Q.; CORSI, M. Efeito da época de adubação nitrogenada do capim Tanzânia irrigado após a desfolha sobre o peso e número de perfilhos. In: **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, 38., 2001, Piracicaba-SP. **Anais...** Piracicaba:SBZ, p. 348-349.

MESA, A. R.; HERNANDEZ, C.; DE LA CRUZ, R. Niveles críticos de P em cv. de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. **Pastos y Forrajes**, v. 6, p. 89-100, 1983.

MISTURA, C.; KROLOW, R. H.; COELHO, R. W.; SIEDERDT, L.; ZONTA, E. P. Efeito de doses crescentes de nitrogênio e fósforo na área foliar, percentagem de folha e peso de perfilhos em três cortes do Capim Elefante anão (*Pennisetum purpureum* Schum.) cv. Mott. In: **REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA**, 38., 2001, Piracicaba-SP. **Anais...** Piracicaba:SBZ, p. 160-161.

MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E.; VIRGENS FILHO, A. C.; SILVEIRA, R. L. V. A.; ABREU, J. B. R. Avaliação da disponibilidade de fósforo no solo por métodos isotópicos, químicos e biológicos. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 54, p. 78-84, 1997.

NAKAGAWA, J.; BÜLL, L. T.; BOARETTO, A. E.; FELIPPE, L. A. Avaliação do efeito do termofosfato na fertilidade de dois solos através do uso de métodos químico e biológico. **Revista da Agricultura**, Piracicaba, v. 58, p. 125-139, 1983.

NAKAGAWA, J.; NAKAGAWA, J.; IMAIZUMI, I.; ROSSETO, C. A. V. et al. Efeitos de fontes de fósforo e da calagem na produção de amendoim. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.28, p.421-431, 1993.

NAKAYAMA, L.H.I.; CACERES, N. T.; ALCARDE, J. C.; MALAVOLTA, E. Eficiência relativa de fontes de fósforo de diferentes solubilidades na cultura do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55,p. 183-190, 1998.

OLIVEIRA, M. A. de, **Morfogênese, análise de crescimento e valor nutritivo do capim Tifton 85 (Cynodon spp.) em diferentes idades de rebrota**, 1999. 94f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1999.

OLIVEIRA, E.L. de; IGUE, O.M.K.; TORNEIRO, M.T.T. Avaliação da eficiência agrônômica de fosfatos naturais. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 8, p. 63-67, 1984.

PACHECO, O.; MENDOZA, L.; JUAN, R.; AVILA, A. Influencia de la fertilizacion NPK sobre el rendimiento y contenido mineral del pasto estrella jamaicano ("Cynodon nlemfuensis"). **Agrotecnica de Cuba**, Havana, v. 19, p. 109-113, 1987.

PACHECO, O.; AVILA, A.; PEREZ, D.; JUAN, R.; PEREZ, J. Respuesta de cuatro espécies de pastos a la fertilizacion fosfórica em um suelo pardo grisáceo. **Pastos y Forrajes**, Matanzas, v. 11, p. 62-67, 1988.

PACHECO, O.; MENDOZA, L.; PEREZ, D.; MAJEDICE, E.; PEREZ, O. Fertilización fosforica del pasto estrella en un suelo Fersialítico de Camaguey. **Suelos y Agroquímica**, v. 12, p. 7-13, 1989.

PALHANO, A. L.; HADDAD, C. M. Exigências nutricionais e valor nutritivo de *Cynodon dactylon* (L.) Pers. CV. Coast- Cross nº 1. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 27, p. 1419-1438, 1992.

PASSOS, R. R.; FAQUIN, V.; CURI, N.; EVANGELISTA, A. R.; VILLA, R. Fontes de fósforo, calcário e gesso na produção de matéria seca e perfilhamento de duas gramíneas forrageiras em amostras de um Latossolo ácido. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 26, p. 227-233, 1997.

PAULINO, V. T.; PACOLA, L.J.; BUFARAH, G. Competição de plantas forrageiras cultivadas num solo Latossolo Roxo de Sertãozinho, SP. **Boletim da Industria Animal**, Nova Odessa, v.47, p.133-139,1990.

PEDREIRA, C. G. S. Avaliação de novas gramíneas do gênero *Cynodon* para a pecuária do sudeste dos Estados Unidos. In: **WORKSHOP SOBRE O POTENCIAL FORRAGEIRO DO GÊNERO CYNODON**, 1996, Juiz de Fora. **Anais...** p.111-125.

PINTO, J. C.; GOMIDE, J. A.; MAESTRI, M. Produção de matéria seca e relação folha/caule de gramíneas forrageiras tropicais, cultivadas em vasos, com duas doses de nitrogênio. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 23, p. 313-326, 1994.

RAIJ, B. van. Condições mínimas de eficiência para fosfatos alternativos ao superfosfato. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v.10, p. 235-239, 1986.

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. 170p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. 285p.

RAMOS, M. G. Avaliação da eficiência de oito fosfatos para as culturas de trigo e soja em um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 6, p.38-42, 1982.

RAO, I. M.; BORRERO, U.; RICAURTE, J.; GARCIA, R.; AYARZA, M. A. Adaptive attributes of tropical forage species to acid soils. II. Differences in shoot and root growth responses to varying phosphorus supply and soil type. **Journal Of Plant Nutrition**, Monticello, v. 19, p. 323-352, 1996.

RODRIGUES, D.; ANDRADE, F. H.; GOUDRIANN, J. Effects of phosphorus nutrition on tiller emergence in wheat. **Plant and Soil**, Dorducht, v. 209, p. 283-295, 1999.

ROSSI, C.; ANJOS, A. R. M. dos; CAMARGO, M. S. de; WEBBER, O. L. S.; IMHOFF, S.; MALAVOLTA, E. Efeito residual de fertilizantes fosfatados para o arroz: avaliação do fósforo na planta e no solo por diferentes extratores. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56, p. 39-46, 1999.

SANTANA, R. R.; MCDOWELL, L. R. In vitro digestibility, crude protein content, and mineral concentrations of Cynodon, Brachiaria, and Digitaria accessions in a Humid Tropical region of Puerto Rico. **Communication of Soil Science and Plant Analyses**, Monticello, v. 27, p. 2687-2697, 1996.

SANZONOWICZ, C.; LOBATO, E.; GOEDERT, W. J. Efeito residual da calagem e de fontes de fósforo numa pastagem estabelecida em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, p. 233-243, 1987.

SAWAN, Z. M.; HAFEZ, S. A.; BASYONY, A. E. Effect of phosphorus fertilization and foliar application of chelate zinc and calcium on seed, protein and oil yields and oil properties of cotton. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 136, p. 191-198, 2001.

SEGARS, W. I. ; USHERWOOD, N. R. Timing and rates of nitrogen, phosphorus and potassium for top yields of quality Bermudagrass. **Better Crops**, Atlanta, v. 81, p. 21-23, 1997.

SILVA, N. M.; FERRAZ, C. A. M.; CAMPANA, M. P. Competição entre superfosfato simples e termofosfatos, em ensaios permanente com o algodoeiro. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Campinas, v. 1, p. 34-38, 1977.

SOARES, W. V.; LOBATTO, E.; SOUSA, D. M. G. de; REIN, T. A. Avaliação do fosfato natural de Gafsa para recuperação de pastagem degradada em Latossolo Vermelho-Escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 819-825, 2000.

SOUZA, R. F. de; PINTO, J. C.; SIQUEIRA, J. O. & RESENDE, V. F. Micorriza e fósforo no crescimento de *Brachiaria brizantha* e *Stylosanthes guianensis* em solo de baixa fertilidade. 1. Produção de matéria seca e proteína bruta. **Pasturas Tropicais**, v. 21, p.19-23, 1999.

STEFANUTTI, R. **Efeito da granulometria do termofosfato magnésiano no aproveitamento do fósforo**. 1991. 76f. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

VALE, F.; OLIVEIRA, F. C.; ALVES, M. E.; WEBER, O. L. dos S. Efeito residual de fertilizantes fosforados numa sucessão centrosema-brachiária e determinação do fósforo disponível com diferentes extratores. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 73, p. 345-357, 1998.

WERNER, J. C.; QUAGLIATO, J.L.; MARTINELLI, D. Ensaio de fertilização do colômbio com solo da "Noroeste". **Boletim da Indústria Animal**, São Paulo, v. 24, p. 59-67, 1967.

WERNER, J.C.; PAULINO, V. T.; CANTARELLA, H.; ANDRADE, N. de O.; QUAGGIO, J. A. Forrageiras. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**, 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1996. p. 261-274.

WIEDENFELD, R. P. Coastal Bermudagrass and Renner lovegrass fertilization responses in a subtropical climate. **Journal of Range Management**, Denver, v. 41, p. 7-11, 1988.

WRIGHT, R. J. et al. Response of bermudagrass selections from the appalachian region to N and P fertilization. **Communication of Soil Science and Plant Analyses**, Monticello, v. 15, p. 861-877, 1984.