**EFEITO DE FONTES E DOSES DE FÓSFORO NA ALFAFA
(*Medicago sativa* L.) E CENTROSEMA (*Centrosema pubescens* Benth.)
E AVALIAÇÃO DE EXTRATORES**

ADÔNIS MOREIRA

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Eurípedes Malavolta

**Dissertação apresentada à Escola Superior de
Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade
de São Paulo, para obtenção do título de Mestre
em Agronomia, Área de Concentração: Solos e
Nutrição de Plantas.**

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Abril - 1997

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

Moreira, Adônis

Efeito de fontes e doses de fósforo na alfafa (*Medicago sativa* L.) e centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.) e avaliação de extratores / Adônis Moreira. - - Piracicaba, 1997.

107 p. : il.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1997.

Bibliografia.

1. Adubo fosfatado 2. Alfafa 3. Centrosema 4. Extrator químico 5. Fósforo I.
Título.

CDD 633.2
631.8

**EFEITO DE FONTES E DOSES DE FÓSFORO NA ALFAFA
(*Medicago sativa* L.) E CENTROSEMA (*Centrosema pubescens* Benth.)
E AVALIAÇÃO DE EXTRATORES**

ADÔNIS MOREIRA

Aprovada em 12.06.1997

Comissão Julgadora

Prof. Dr. Eurípedes Malavolta

Dr. Herbert Barbosa de Mattos

Prof. Dr. Leonardo Theodoro Büll

CENA/USP

IZ/Nova Odessa

UNESP/Botucatu

Prof. Dr. Eurípedes Malavolta
Orientador

OFEREÇO

Aos meus pais, Antonio e Margarida,
pela oportunidade de estudar e o amor
nos momentos mais difíceis.

Aos meus irmãos Sueli, Adolf, “Renato”,
Adalton, “Regina”, Adalberto e “Mila” e
aos meus sobrinhos Felipe, Gabriela e Caio,
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A **Deus**, por conseguir concluir este curso.

À Escola Superior de Agricultura de “Luiz de Queiroz” (ESALQ/USP), pela oportunidade oferecida.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Eurípedes Malavolta, pelas sugestões, paciência e confiança na orientação deste trabalho.

À CAPES pela concessão da Bolsa de Estudo.

À FAPESP pelos recursos financeiros fornecidos para realização do trabalho.

A Cleusa Pereira Cabral pelo auxílio e ensinamento nas análises químicas e amizade.

Aos amigos Ayres e Maria do Rosário, Reynaldo e Marli, Adonias, César, João Batista, Oscar e demais colegas do curso de Pós-graduação, pelo apoio, amizade e incentivo.

À Suzineide, João O. Salvador, Adilson, José R. Martins, Giovana, Henriqueta, Daniela e Renata pela força e pelo convívio.

A Marília R. G. Henyei, pelo auxílio nas referências bibliográficas.

À Janice, Ana, Humberto e Daniel (UFLA/Lavras) pelo apoio nas análises.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	v
SUMMARY	vii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. O fósforo nos solos brasileiros	3
2.2. Extratores de fósforo	5
2.3. Exigências de fósforo	8
2.4. Adubos fosfatados	9
2.4.1. Adubos fosfatados nas leguminosas.....	11
3. HIPÓTESES E OBJETIVOS DO TRABALHO	14
3.1. Hipóteses	14
3.2. Objetivos	14
4. MATERIAL E MÉTODOS	15
4.1. Local	15
4.2. O solo e suas caracterisíticas	15
4.3. Recipientes	15
4.4. Delineamento experimental	18
4.5. Calagem, adubação e inoculação	20
4.5.1. Calagem	20
4.5.2. Adubação	20
4.5.3. Adubação de manutenção	20
4.5.4. Inoculação das sementes	20
4.6. Plantio	20
4.7. Características dos fertilizantes fosfatados	21
4.8. Irrigação e manutenção da umidade do solo	21

4.9. Colheita e análise do material.....	21
4.10. Extração e determinação do pH, P, Ca e Mg do solo	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5.1. Produção de matéria seca	23
5.2. Quantidade e teor de P absorvido	32
5.3. Índice de Eficiência Agronômica e Equivalente Superfosfato Triplo	35
5.4. Avaliação e comportamento dos extratores de fósforo	38
5.5. Fosforo recuperado pelos extratores	48
5.6. Nitrogênio	51
5.7. Cálcio e Magnésio	54
5.7.1. Cálcio	54
5.7.2. Magnésio	57
5.8. Micronutrientes	60
5.8.1. Cobre, Ferro e Manganês	60
5.8.2. Zinco	62
5.9. pH.....	64
6. CONCLUSÕES	67
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
APÊNDICES.....	90

EFEITO DE FONTES E DOSES DE FÓSFORO NA ALFAFA (*Medicago sativa* L.) E CENTROSEMA (*Centrosema pubescens* Benth.) E AVALIAÇÃO DE EXTRATORES

Autor: Adônis Moreira

Orientador: Prof. Dr. Eurípedes Malavolta

RESUMO

O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), e teve por objetivos determinar a eficiência de adubos fosfatados na produção e na composição das leguminosas forrageiras alfafa e centrosema.

As plantas foram cultivadas em vasos de 5 kg contendo um latossolo-vermelho amarelo distrófico, coletado no município de Nova Odessa, São Paulo. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado com 3 repetições. Três fontes foram usadas nas doses 0, 50, 100 e 200 mg kg⁻¹, na forma de superfosfato triplo (SPT), fosfato natural de Arad, fosfato natural da Carolina do Norte (FCN) e termofosfato Yoorin. Em todos os casos o teor total de P₂O₅ foi considerado para determinar as doses de aplicação. As sementes foram inoculadas e tratadas com cobalto e molibdênio. Foram aplicadas adubações uniformes de K e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn e Zn), e utilizou calcário dolomítico para ajustar a saturação de bases. Seis cortes foram realizados. No início do experimento e após cada corte, amostras de solo de cada vaso foram coletadas para análise. O P disponível foi extraído por resina, Mehlich 1 e Mehlich. O material vegetal foi analisado após cada corte.

As doses de P aplicadas aumentaram a produção de matéria seca (MS) e o teor de P, sendo que a alfafa apresentou maior resposta. O Yoorin proporcionou a maior produção de MS estimada: em 6 cortes 49,9 e 75,6 foram obtidas, respectivamente com a alfafa e centrosema.

A eficiência dos adubos fosfatados foi avaliada por três métodos, dois convencionais e um para representar uma nova tentativa.

Os métodos convencionais utilizados foram o “Índice de Eficiência Agronômica” (IEA), “Equivalente Superfosfato Triplo” (E_qSPT). O método proposto, considerou todas as doses e todos os pontos da curva de resposta, sendo chamado “Índice de Eficiência” (IE). Ele foi definido como a relação entre a produção de matéria seca e dose de P aplicada, ambos correspondendo à produção máxima calculada.

Na alfafa, não houve diferença significativa na dose 50 mg de P no IEA e E_qSPT para o FCN, Arad e Yoorin; com a dose 100 mg de P, entretando, o Yoorin e Arad foram iguais e superiores a FCN; na presença da maior dose a ordem foi Yoorin > Arad = FCN. O mesmo ocorreu com o E_qSPT . O IE foi maior no Yoorin e Arad, não diferindo ao nível de 5% de probabilidade, mas foram superiores ao SPT e FCN. No caso da centrosema, o IEA foi igual para os três fosfatos na dose 50 mg de P; com 100 mg de P a ordem foi Yoorin > Arad > FCN. O Arad e FCN não apresentaram diferença significativa e foram inferiores ao Yoorin na dose 200 mg de P. A variação do E_qSPT na dose 50 mg de P foi semelhante ao observado no IEA; na dose 100 mg a ordem foi Yoorin = Arad > FCN, entretanto Arad foi igual ao FCN; na dose 200 mg de P a ordem de equivalência foi Yoorin > FCN = Arad. No IE, os valores encontrados foram Yoorin = Arad = SPT > FCN.

Considerando a média das três doses aplicadas e todos os cortes, a quantidade total de P obedeceu a seguinte ordem crescente: Yoorin > SPT > FCN > Arad.

Os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina apresentaram alta correlação entre si e foram similares na avaliação do fósforo disponível. Os fosfatos naturais apresentaram a maior taxa de recuperação.

A aplicação de P aumentou significativamente o teor de N na centrosema. O teor de Ca aumentou em todas as doses e fontes, enquanto que o Yoorin aumentou a concentração de Mg. O pH do solo diminuiu com SPT, enquanto que os fosfatos naturais não tiveram efeito. O Yoorin entretanto, diminuiu a acidez. As doses de P reduziram o teor de Zn na matéria seca. O teor de Zn apresentou correlação negativa com a produção de MS no termofosfato Yoorin. Este, entretanto não evitou que o termofosfato tivesse a maior produção de MS, o que não ocorre normalmente. Os teores de Cu, Fe e Mn não foram afetados nem pelas doses e nem pelas fontes de P aplicadas.

**EFFECTS OF SOURCES AND RATES OF PHOSPHORUS ON ALFALFA
(*Medicago sativa* L.) AND CENTROSEMA (*Centrosema pubescens* Benth.)
AND EVALUATION OF EXTRACTANTS**

Author: Adônis Moreira

Adviser: Eurípedes Malavolta

SUMMARY:

Plants were grown in 5 kg pots containing a Red Yellow Latosol, dystrophic, collected in the Nova Odessa Country, São Paulo, placed in a greenhouse of the Centro de Energia Nuclear na Agricultura, University of São Paulo, Piracicaba, SP, Brazil. The treatments were completely randomized, with 3 replicates. Three sources of P were used at the rates of 0, 50, 100 and 200 mg kg⁻¹, supplied as triple superphosphate (TSP), Arad rock phosphate (ARP), North Carolina rock phosphate (NCRP), and Yoorin magnesium thermophosphate (YTP). In all cases total P₂O₅ content was considered to fulfill the rates of application. Seeds were inoculated and treated with cobalt and molybdenum. Uniform dressing of K and micronutrients (B, Cu, Fe, Mn and Zn) were also applied, and dolomitic limestone was used for adjustment of base saturation. Six cuttings were made. At the start of the trial and after each cutting soil samples from each pot were taken for analysis. Available P was extracted by resin, Mehlich 1 and Mehlich 3. Plant material was also analyzed after each cutting.

The various rates of P applied increased both dry matter (DM) and P level, alfalfa being more responsive. YTP ranked first in the estimation of total DM production: in 6 cuttings 49,9g and 75,6 g were obtained, respectively with alfalfa and centrosema.

The efficiency of the phosphatic fertilizers was evaluated by three different methods, two conventional and one which represents a new attempt. The conventional approaches are the "Index of Agronomic Efficiency" (IEA) and "Triple Superphosphate Equivalent" (E_qTSP). The proposed one, which considers all rates and all points of the response curves, is tentatively called "Efficiencies Index" (EI). It is simply defined as the

quotient between DM yield and rate of P applied, both corresponding to the calculated maximum DM production.

Ranking of the phosphates varied as follows. When alfalfa was the test crop and P was supplied at the lowest rate, there was no significant difference among the IAE for YTO, ARP and NCRP; with 100 mg P added, however, YTP and ARP were equal and higher than NCRP; in the presence of the highest rate application the order was $YTP > ARP = NCRP$ at the 5% level. The same was observed with the E_qTSP index. The EI was higher for YTP and ARP which did not differ at the 5% level of probabilities, both being higher than NCRP and TSP which did not differ. In the case of centrosema the IAE was the same for the three phosphates at the 50 mg P rate of application. With 100 mg the order was $YTP > ARP > NCRP$; there was no significant difference between NCRP and ARP which were lower than YTP when 200 mg P was supplied. The variation in E_qTSP at the 50 mg P rate was the same observed in IAE; with 100 mg the order was $YTP = ARP > NCRP$, being $ARP = NCRP$; when 200 mg P were given the values followed the order $YTP > NCRP = ARP$. Highest EI values were found with YTP, ARP and TSP which did not differ among themselves being higher than NCRP.

Soil P values obtained using Mehlich 1 and 3 and resin extraction correlated well among each other and gave similar results. Highest recovery percentages were provided by the rock phosphates.

Considering the average of the three rates of application and all cuttings total P taken up obeyed the following decreasing order: $YTP > TSP > NCRP > ARP$.

Applied P was able to raised N level only in centrosema. Ca level was raised by all sources , whereas only YTP increased Mg concentration. Soil pH was decreased by TSP, whereas the rock phosphates had no effect. YTP however, decreased acidity. P rates reduced Zn level in the dry matter, and a negative relationship was found between Zn concentration the plants and yield due to the application of YTP. This, however did not prevent the termophosphate from giving the top yield, as pointed out. Levels of Cu, Fe and Mn in the dry matter were not affected neither by sources nor by rates of P applied.

1. INTRODUÇÃO

Estudos recentes levam à conclusão de que, em escala mundial, o fornecimento de mineral fosfatado estará garantido, pelo menos por uns 500 anos. Entretanto, se for levado em conta a tecnologia disponível e os preços correntes, pode-se concluir que a exploração dessa reserva não é economicamente viável. Fox (1978) aponta como umas das alternativas para o problema, a seleção de plantas que produzam bem em solos com baixo teor de fósforo disponível. Além disto, é importante ressaltar, que para as atuais reservas brasileiras conhecidas e supondo uma taxa anual de crescimento da demanda de 5%, sua duração está limitada a aproximadamente 40 anos. Outro fator que deve ser levado em consideração, são as altas perdas de fósforo, que ocorrem desde a etapa de lavra até assimilação pelas culturas, podendo estas perdas chegarem a até 98% (Cekinski, 1990).

As necessidades das plantas em fósforo são relativamente pequenas em comparação com as de outros macronutrientes. Entretanto, para prevenir a deficiência é necessário a aplicação de grandes quantidades de fosfatos, sobretudo quando comparadas às adubações com N e K. Este fato é causado pela capacidade que tem o solo em reter o elemento em formas poucos solúveis, não prontamente disponíveis para as plantas, o que depende principalmente dos teores de sesquióxidos e do pH (Tisdale et al., 1993).

As plantas absorvem apenas o fósforo da solução do solo que está em equilíbrio com o chamado fósforo lábil. O teor de fósforo na solução do solo é muito baixo; durante o ciclo da cultura, é necessário que esse teor seja restabelecido muitas vezes, à custa do fósforo lábil (Russel, 1973; Tisdale et al., 1993).

As plantas absorvem o fósforo quase exclusivamente como ânion H_2PO_4^- . O fósforo tem uma importante função nas plantas como constituintes de compostos armazenadores de energia, como o ATP (trifosfato de adenosina). É utilizando-se dessa

energia que a semente germina, a planta absorve de forma ativa os nutrientes do solo, e sintetiza vários compostos orgânicos. Outros compostos que contém fósforo são os derivados de inositol, fosfolípídeos e outros ésteres. Os primeiros compostos orgânicos formados com o fósforo dentro da planta são as fosfohexoses e o difosfato de uridina, que são os precursores do ATP (Malavolta, 1980).

Geralmente, a disponibilidade de fósforo para as plantas é avaliada através da extração química. Os diversos métodos utilizados apresentam diferentes capacidades de extração e nem sempre apresentam boa correlação com a quantidade de P absorvida pelas plantas. Os métodos de extração mais utilizados são geralmente rápidos, pouco onerosos e possuem boa praticidade na execução em rotina de laboratório.

As variações nas características do solo nas diferentes regiões, indicam a necessidade de avaliações regionais de extratores de P, sob condições que proporcionem alterações na capacidade de extração, bem como na eficiência dos extratores utilizados, visando prever as quantidades do elemento que se encontram à disposição para as culturas.

O objetivo deste trabalho foi determinar a eficiência dos adubos fosfatados, acompanhar a variação na marcha de disponibilidade de fósforo para as fontes de adubo estudado, estabelecer a correlação entre o P no solo, planta e produção e avaliar a eficiência dos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O fósforo nos solos brasileiros

No Brasil, o fósforo é o elemento cuja falta limita mais freqüentemente a produção. Cerca de 90% das análises feitas no país mostram que os teores de fósforo disponível no solo são comumente baixos, podendo ser inferiores a $1,0 \text{ mg dm}^{-3}$ (Malavolta, 1980; Goedert et al., 1985). A maioria das vezes o pH dos solos cultivados está na faixa de 4 a 5 e, conseqüentemente, quase todo o P na solução está na forma de íons H_2PO_4^- (Tisdale et al., 1985).

As grandes variações nas quantidades de fósforo total dos solos das regiões tropicais são devidas ao material de origem, processo de gênese e condições climáticas. No Brasil, o P total encontra-se na maior parte como P não lábil; por isso, solos com 200 ou 300 mg dm^{-3} de P-total podem ser extremamente deficientes para as culturas (Goedert et al., 1985).

De acordo com Malavolta (1976), os teores totais de P nos solos no Brasil, são os que aparecem na Tabela 2. Observa-se que o limite inferior é 40 e o superior é 2130 mg dm^{-3} , sendo mais frequente os teores menores do que 430.

As formas de fósforo que são encontradas na solução do solo dependem das reações de protonação e formação de complexos, enquanto que o produto da solubilidade e a absorção controlam, respectivamente, a dissolução e o equilíbrio dinâmico entre as formas de P (Larsen, 1967).

os altos níveis de absorção de P pela planta fazem com que o equilíbrio se desloque para a direita, isto é, parte do P (não lábil) se torna disponível. As formas não lábeis de P,

mesmo em solos pobres são muito grandes em relação ao P-lábil mais o P-solução. Assim sendo é possível manter na solução do solo uma concentração baixa, mesmo com uma quantidade suficiente de P.

Tabela 2 - Teores totais de fósforo no solo.

Solo	mg dm ⁻³
Areia quartzosa	40 - 90
Latossolos	130 - 652
Podzol hidromórfico	87
Podzólicos	43 - 69
Solos orgânicos	2130
Solos podzolizados	43 - 304
Terra roxa estruturada	610 - 1960

Através do fracionamento do P em solos do Estado de São Paulo (Tabela 3), Jorge & Valadares (1969) observaram que as formas predominantes são as correspondentes aos fosfatos de ferro; estes e os de alumínio parecem ser os mais comuns nos solos tropicais, assim demonstrado na Tabela 4 por Malavolta (1985).

Tabela 3 - Teores médios de P nos horizontes superficiais dos principais solos do Estado de São Paulo (mg dm⁻³).

Solo	P-Fe		P-Ca	P-Al		orgânico	Total
	ativo	ocluso		ativo	ocluso		
Latossolo-roxo	87,5	427,5	44,5	12,0	12,5	61,5	645,5
Lat. ver.-amar.	30,5	150,0	10,0	4,5	4,0	28,0	226,0
Lat. ver.-escuro	19,0	140,0	9,0	-	3,0	32,0	203,0
Podzólicos	33,8	115,8	13,0	4,0	5,8	54,5	226,8
Terra roxa	90,0	340,0	190,0	7,0	3,0	71,0	701,0

Segundo Malavolta (1985), o P do solo é absorvido predominantemente como H_2PO_4^- , espécie iônica mais abundante na faixa de pH favorável ao desenvolvimento das plantas (Tabela 5).

Tabela 4 - Formas de P nos solos.

Forma	% de P total ⁽¹⁾
<i>Orgânicas</i>	
Fosfato inositol	10 - 60
Ácidos nucleicos	
Fosfolipídios	
outras	
<i>Minerais</i>	
P-Ca	5 - 30
P-Fe	10 - 20
P-Al	<10
P-absorvido	1
P-ocluso	40 - 90

1 - Total = 0,005 - 0,20% = 110 - 4400 kg ha⁻¹

2.2. Extratores de fósforo

Inúmeros métodos de extração têm sido propostos para diagnosticar o grau de disponibilidade do fósforo para as plantas, sendo geralmente agrupados em métodos químicos, físico-químicos e biológicos (Fitts & Nelson, 1956). Cada método apresenta maior ou menor facilidade em extrair P, motivo pelo qual, a avaliação do fósforo disponível em solos é um assunto que tem merecido muita atenção (Raij, 1991).

No caso dos extratores, Raij (1991) relata que nas análises de rotina feita no Brasil, emprega-se somente os métodos Mehlich 1 (Carolina do Norte) e resina trocadora de íons (Tabela 6).

O método Mehlich 1 (Carolina do Norte ou duplo ácido) utiliza como extrator uma mistura de ácidos diluídos (HCl 0,05N + H₂SO₄ 0,025N) e uma relação solo

extrator de 1:10 (Mehlich, 1978; Olsen & Dean, 1986). Conforme Kramprath & Watson (1980), o extrator Mehlich 1 é recomendado para solos com predominância de caulinita na fração argila, de baixa capacidade de troca de cátions (CTC) e baixo pH. Anghinoni & Bohnem (1974) comentam que mesmo apresentando algumas falhas na determinação do fósforo adicionado, este método oferece uma avaliação satisfatória em relação a reserva de fósforo disponível.

Tabela 5 - Disponibilidade relativa das formas de fósforo no solo.

Forma	Quantidade	Disponibilidade
	% de P total	
H₂PO₄	1 - 10	alta
Ca(H₂PO₄)₂		
CaHPO₄		
NH₄H₂PO₄		
Sílico fosfatados		
Matéria orgânica fresca	10 - 20	média
Ca₃(PO₄)₂		
Precipitados recentes (Fe-P, Al-P)		
Matéria orgânica humificada	70 - 90	baixa ou muito baixa
Apatitas		
Precipitados envelhecidos		
Fosfatos oclusos		

Muzzili (1982), trabalhando com fosfatos naturais, encontrou altos teores de fósforo extraído pelo método Mehlich 1, sem que ocorresse elevada eficiência no aproveitamento do nutriente pelas culturas. Isso é explicado pelo fato dos extratores ácidos extraírem mais P ligado ao cálcio e apenas porções ligadas ao Fe e Al (Kamprath & Watson, 1980).

Tanaka et al. (1981) verificaram que não houve variação significativa na eficiência dos extratores químicos para a recuperação do P e nas correlações com a resposta das plantas.

Outro método de extração ácida pouco utilizado no Brasil é o Mehlich 3, que tem como composição química uma mistura de CH_3COOH 0,2N; NH_4NO_3 0,25N; NH_4F 0,015N e EDTA ácido 0,001M (Mehlich, 1984), sendo considerado como um dos procedimentos mais apropriados e econômicos para análise de solo em laboratório, devido a sua capacidade de extrair do solo simultaneamente os nutrientes P, K, Ca, Mg, B, Cu, Fe, Mn, Na e Zn (Tran et al., 1990).

Com relação a resina trocadora de íons, este processo não utiliza qualquer reagente químico, extraindo em princípio apenas as formas solúveis e lábeis de P. O uso da resina está baseado no fato de que o solo é um trocador de íons (Raij, 1978). O pH da suspensão resina-solo é semelhante ao pH do solo.

De acordo com Raij et al. (1986), a utilização de resina trocadora de íons tratada com bicarbonato de sódio sofre menor influência dos resíduos de fosfatos naturais existentes no solo, enquanto a resina tratada com ácido clorídrico causa certa interferência.

Tabela 6 - Interpretação do teores de P disponível nos solos brasileiros em mg dm^{-3} .

Estado ou região	Extrator $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$	Classificação ⁽¹⁾				
		MB	B	M	A	MA
RS e SC	Mehlich 1	1-8	2-16	4-24	>6>24	>8>30
PR	Mehlich 1	-	<3	3-7	>7-16	>16
SP	Resina	0-6	7-15	16-40	41-80	>80
MG	Mehlich 1	-	0-10	6-20	>10>20>30	-
NE	Mehlich 1	-	0-10	11-30	>20>30	-

(1) MB = Muito baixo, B = Baixo, M = Médio, A = Alto, MA = Muito alto

(2) Valores menores: solos mais argilosos.

Fonte: Muzzili et al. (1978)

Comissão Estadual de Fertilidade do Solo (1989)

Lopes & Guimarães (1989)

Siqueira et al. (1989)

Raij et al. (1992)

2.3 - Fósforo na planta

Devido às baixas concentrações de fósforo encontradas usualmente na solução do solo, o H_2PO_4^- entra em contato com a raiz quase exclusivamente por difusão (Barber, 1977) sendo absorvido ativamente.

Segundo Malavolta (1980) e Mengel & Kirkby (1987), o fósforo é absorvido e rapidamente incorporado com compostos orgânicos, onde 10 minutos depois da absorção, 80% do elemento pode ser encontrado como fosfohexoses e difosfato de uridina. Altas concentrações de Ca, Cu, Fe e Zn em pH um pouco ácido podem determinar a precipitação do fosfato inorgânico nos vasos do xilema, sendo mais rápida a redistribuição do P pelo floema, principalmente na forma de fosforil colina. O fósforo é bastante móvel na planta e pode se translocar dos tecidos mais velhos aos mais jovens (Rhykerd & Overdahl, 1972; Marschner, 1995).

Na deficiência de fósforo, as plantas apresentam algumas características visíveis que são demonstrados através da coloração amarela das folhas, a princípio das mais velhas, pouco brilho, com coloração verde-azulada ou manchas pardas, apresentando ângulos foliares mais estreitos com menor perfilhamento, as gemas laterais ficam dormentes, ocorrendo um menor florescimento e redução no número de frutos e sementes; como alteração química ocorre um aumento de pigmentos vermelhos ou roxos em algumas espécies, aumento no conteúdo de carboidratos e aumento na relação P orgânico/P inorgânico. O excesso de P na planta acarreta restrição das diferenciações dos caules e indução de deficiências de Cu, Fe Mn e Zn (Malavolta et al. 1989).

Espécies e cultivares podem diferir muito na capacidade de absorção de um dado elemento. Segundo Gallo et al. (1974) as leguminosas absorvem mais P que as gramíneas (Tabela 7), o que pode ser devido à desigualdade na constante que define a afinidade entre o elemento e o seu carregador, à distribuição do sistema radicular, ou ambas as coisas (Fenster & León, 1982).

Tabela 7 - Comparação do teor médio foliar de P entre gramíneas e leguminosas cultivadas no Estado de São Paulo.

Gramíneas		Leguminosas	
Espécie	P g kg ⁻¹	Espécie	P g kg ⁻¹
Angola	3,3	Alfafa	3,8
Brachiaria decumbens	2,6	Centrosema	2,3
Colonião	2,1	Guandu	2,9
Elefante	2,3	Lab-lab	4,4
Jaraguá	1,3	Soja perene	2,3
Setária	2,7	Trevo branco	3,1

2.4 - Adubos fosfatados

Os adubos fosfatados mais utilizados atualmente na agricultura brasileira são os fosfatos de tratamento ácido (solúveis), termosfosfatos, multifosfatos e fosfatos naturais. No Brasil têm sido fabricados fosfatos parcialmente acidulados. Produtos de origem orgânica (restos de cultura, resíduos animais e subprodutos industriais) têm sido complementos de grande valor. A escolha de uma fonte normalmente se baseia tanto na sua eficiência em suprir o fósforo para as plantas como na sua relação custo benefício (Goedert et al., 1985).

A Tabela 8, Malavolta (1980) resume as principais características dos adubos fosfatados utilizados no Brasil, quanto à sua composição química e solubilidade.

Segundo Coelho & Verlengia (1973), os fosfatos naturais são fertilizantes poucos assimiláveis pelas plantas, por serem quase que totalmente insolúveis em água, restringindo sua utilização na agricultura. As principais fontes dos fosfatos naturais são as apatitas e fosforitas. As primeiras são originárias de minerais primários de baixa solubilidade e baixo teor de fósforo assimilável ($\pm 3\%$); já as fosforitas são minerais fosfatados amorfos de origem secundária; sua solubilidade em citrato de amônio está em torno de 5%, não apresentando fósforo solúvel em água. Dependendo do tipo de solo e

produção, o fosfato natural pode ser classificado em alta, média e baixa eficiência de acordo com a sua solubilidade em citrato, onde geralmente tem uma eficiência de 80 a 100%, 50 a 80% e 30 a 50%, respectivamente, se comparado com a resposta inicial do superfosfato triplo (Tisdale et al., 1993).

Outros fertilizantes fosfatados são os solúveis em água obtidos pela acidulação de rochas fosfatadas, destacando o superfosfato simples que contém 20% de P_2O_5 , sendo este quase totalmente solúvel em água e o superfosfato triplo com alto teor de P_2O_5 (46%), totalmente solúvel representando aproximadamente 50% dos fertilizantes fosfatados fabricados no mundo (Fassbender & Bornemisza, 1994).

O termofosfato possui cerca de 19% de P_2O_5 total, sua solubilidade é grandemente influenciada pelo pH e matéria orgânica do solo. É uma fonte de cálcio e magnésio, atuando muitas vezes como corretivo da acidez do solo (Goedert et al., 1985). Quando se aplica o termofosfato num solo com acidez elevada, o contato deste com o solo provoca o desprendimento do hidrogênio do colóide encontrado na superfície, para assim aderir com o Mg e Ca, numa troca de posições. Após essa troca, o fósforo desprende do termofosfato junto com a sílica, tornando-se solúvel ao entrar em contato com os ácidos fracos, tais como o ácido carbônico e outros ácidos orgânicos e minerais diluídos, sendo assim, absorvido pelas plantas (Souza & Yasuda, 1995).

Os adubos fosfatados adicionados aos solos, além do efeito imediato sobre a cultura, que se segue à adubação, podem ter um efeito residual nas subseqüentes. Além do tipo de cultura, vários fatores podem afetar o efeito residual de fósforo tais como: doses de P, fontes de P, método de aplicação, manejo do solo, temperatura, tipo de solo e umidade. Ao contrário dos fosfatos acidulados e dos termofosfatos, os fosfatos naturais apresentam uma solubilidade mais lenta e, por isso, pode ocorrer um aumento gradativo de sua disponibilidade (Russell, 1973; Lopes, 1984).

Tabela 8 - Características dos principais adubos fosfatados utilizados no Brasil.

Adubo	P	Ácido	Citrato	H ₂ O	N	CaO	MgO	S
	total	cítrico	de amônio					
	% P ₂ O ₅				%			
<i>solúveis</i>								
Superfosfato simples	21	18	18	15	0	26	0	12
Superfosfato triplo	45	42	45	38	0	15	0	10
Fosfato monoamônico	52	52	52	50	10	0	0	0
Fosfato diamônico	45	43	44	41	18	0	0	0
Multifosfato ⁽¹⁾	18	18	-	-	-	18	3,5	11
Termofosfato	19	16	13	0	0	28	16	0
<i>Insolúveis</i>								
Araxá	36	5	2	0	0	42	0	0
Catalão	37	25	0,5	0	0	-	0	0
Hiperfosfato	27	12	6	0	0	40	0	0
Maranhão	30	1	15	0	0	-	0	0
Patos de Minas	23	4	1	0	0	-	0	0

(1) Fonte: Indústria de Fertilizantes Manah (1988).

Em solos das regiões dos trópicos, que tem um grande poder de adsorção, o efeito residual é de vital importância. Trabalhos realizados no Havai e na Carolina do Norte, demonstraram que leguminosas forrageiras mantiveram a produção por vários anos com a aplicação de fertilizantes fosfatados somente na época do plantio (Fox, 1978).

2.4.1. Adubação fosfatada nas leguminosas

Lobato et al. (1986) concluíram que os níveis críticos para as forrageiras tropicais são mais baixo que para as leguminosas de clima temperado, demonstrando que a *Centrosema pubescens* têm um nível crítico interno menor que a espécie *Medicago sativa*. A primeira espécie é nativa de regiões com solos pobres em fósforo disponível,

enquanto que a segunda é originária de regiões com solos apresentando alto teor de fósforo disponível, além de outros nutrientes.

Para Fancelli et al. (1981), a resposta da centrosema aos nutrientes varia acentuadamente conforme a fertilidade natural do solo e o equilíbrio entre os diferentes elementos. Em solos pobres, a centrosema responde ao fósforo, molibdênio, magnésio e por vezes a outros nutrientes. A resposta ao fósforo tem sido constatada em muitas situações e especialmente durante a fase de estabelecimento. Carvalho et al. (1971) trabalhando num latossolo vermelho-escuro com pH 4,7 verificaram que a aplicação de fósforo causou um aumento na produção de matéria seca e no número de nódulos, mas não aumentou a quantidade de proteína. Costa & Curado (1980) citam que a centrosema só responde a calagem em solos com altos teores de alumínio tóxico, quando feita juntamente com a adubação fosfatada.

Paulino et al. (1992) ao estudar a adubação fosfatada e fungos micorrízicos na centrosema, observaram uma grande elevação da eficiência de absorção de fósforo dessa leguminosa através de micorrização, sendo um fator muito importante para o desenvolvimento da pecuária nos trópicos.

Werner & Mattos (1972) obtiveram resposta desta leguminosa, a diversos nutrientes; observaram que a deficiência de fósforo foi o fator mais limitante no desenvolvimento da nodulação e, conseqüentemente, da fixação de nitrogênio. Sendo uma espécie originária de regiões com solos pobres em fósforo disponível, vegeta bem em baixos níveis deste, tendo um nível crítico interno de $1,6 \text{ g kg}^{-1}$ de P na matéria seca (Lobato et al., 1986; Smith, 1986).

Gilbert et al. (1992) ao determinarem as características nutricionais de várias leguminosas tropicais, observaram que em baixos níveis de aplicação de fósforo no solo, a centrosema foi uma das leguminosas que teve maior capacidade em acumular fósforo na matéria seca.

A quantidade extraída pela alfafa é relativamente pequena: uma produção de 22 t ha^{-1} retira do solo aproximadamente 55 kg ha^{-1} de P; esta quantidade pode parecer

muito pequena, mas a disponibilidade logo após a aplicação é baixa, em geral de 10 a 30% (Schmehl & Romsdal, 1963), o que exige o uso de doses relativamente grandes.

Griffith (1974) ao estudar o fósforo disponível e total em nove tipos de solos, observou que houve um maior esgotamento no teor de fósforo ao longo do perfil, naqueles onde se cultivou alfafa, e ocorreu um menor murchamento em períodos de estiagem.

Reid & Jung (1974) observaram um incremento na produção de matéria seca com o aumento das doses de P, e que em decorrência da adubação, o teor de P na planta pode ser utilizado como parâmetro para calcular as necessidades para uma lactação diária adequada de uma vaca leiteira.

Willians (1953) obteve em um experimento de 4 anos em Oklahoma com alfafa, aumento 3,4 vezes superior a testemunha com a aplicação de aproximadamente 620 kg ha⁻¹ de fosfato natural altamente reativo na época de plantio (fosfato natural da Flórida).

Plancquaert (1977) e Lanyon & Griffith (1988) observaram que para se obter o máximo de rendimento em solos pobres em fósforo, é necessário aplicar de 100 a 150 kg ha⁻¹ de P₂O₅; a exportação deste nutriente para uma produção de 1 t ha⁻¹ de matéria seca é de aproximadamente 5 a 8 kg ha⁻¹. O teor crítico de fósforo estabelecido por Andrew & Robins (1969a) e Smith (1986) é de 2,4 g kg⁻¹ na matéria seca.

3 . HIPÓTESES E OBJETIVOS DO TRABALHO

3.1. Hipóteses

3.1.1. Fosfatos de diferentes graus de solubilidade em água, citrato e ácido cítrico deverão mostrar efeitos também diferentes na produção e no acúmulo de P pelas forrageiras.

3.1.2. Em função das exigências nutricionais da alfafa e centrosema, espera-se uma resposta distinta das mesmas, quanto às fontes e doses dos fertilizantes fosfatados.

3.2. Objetivos

3.2.1. Comprovar as hipóteses

3.2.2. Determinar a eficiência dos adubos fosfatados.

3.2.3. Acompanhar a variação na marcha de disponibilidade de fósforo para as fontes de adubo fosfatado estudado, em cortes sucessivos.

3.2.4. Estabelecer a correlação entre o P no solo, planta e produção.

3.2.5. Avaliar a eficiência dos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Centro de Energia Nuclear na Agricultura CENA/USP, localizado no município de Piracicaba nas coordenadas geográficas de 22°42'30" LS e 47°38'00" LW, Estado de São Paulo.

4.2. O solo e suas características

O solo utilizado foi um latossolo vermelho-amarelo distrófico (Oxissolo) coletado no Instituto de Zootecnia (IZ) localizado no município de Nova Odessa, Estado de São Paulo. Após secagem ao ar, o solo foi passado em peneira de malha de 2 mm para destorroamento e uniformização. Amostras foram levadas ao laboratório, para determinação das características físicas e químicas. Os resultados obtidos estão nas Tabelas 9, 10 e 11.

4.3. Recipientes

Foram utilizados vasos de barro com 5 litros de capacidade, pintados internamente com “neutrol” e providos de coletores. Cada leguminosa forrageira foi mantida em bancadas distintas.

Tabela 9 - Resultados das análises químicas do solo.

Características	Teor
pH em água (1:2,5)	4,3
pH em CaCl_2 (1:2,5)	3,7
pH em KCl (1:2,5)	3,6
Δ pH	-0,7
M.O. (g dm^{-3}) ⁽¹⁾	20,3
P-resina (mg dm^{-3})	4,0
P-Mehlich 1 (mg dm^{-3})	6,0
P-Mehlich 3 (mg dm^{-3})	5,0
S- SO_4^{2-} (mg dm^{-3}) ⁽²⁾	59,5
S (mg dm^{-3}) ⁽³⁾	39,8
K^+ -resina ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)*	0,1
K^+ -Mehlich 1 (mg dm^{-3})	55,0
K^+ -Mehlich 3 (mg dm^{-3})	47,0
Na-Mehlich 1 (mg dm^{-3})*	6,1
Na-Mehlich 3 (mg dm^{-3})	5,3
Ca^{2+} -resina ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)*	0,3
Ca^{2+} -KCl 1N ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,4
Ca^{2+} -Mehlich 3 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,4
Mg^{2+} -resina ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)*	0,2
Mg^{2+} -KCl 1N ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,2
Mg^{2+} -Mehlich 3 ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$)	0,3
Al^{3+} ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ⁽⁴⁾	2,1
$\text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$ ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ⁽⁵⁾	9,6
SB ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ⁽⁶⁾	0,6
T ($\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$) ⁽⁷⁾	10,2
V (%) ⁽⁸⁾	6,0
m (%) ⁽⁹⁾	78,0
P-CMA (mg kg^{-1}) ⁽¹⁰⁾	715,1
P-orgânico (mg kg^{-1}) ⁽¹¹⁾	4,1

¹ - Método colorimétrico (Quaggio & Raij, 1979)² - Extrator NH_4OAc 0,5N em HOAc 0,25N³ - Extrator NaOAc + HOAc ⁴ - Alumínio trocável - extrator KCl 1N (Raij et al., 1987)⁵ - Acidez potencial - solução tampão SMP (Raij et al., 1987)⁶ - Soma de bases trocáveis (Σ dos *)⁷ - Capacidade de troca de cátions ($\text{SB} + \text{H}^+ + \text{Al}^{3+}$)⁸ - Saturação de bases ($\text{SB}/\text{T} \cdot 100$)⁹ - Saturação de alumínio [$\text{Al}^{3+}/(\text{SB} + \text{Al}^{3+}) \cdot 100$]¹⁰ - Capacidade máxima de adsorção - Isoterma de Langmuir (Olsen & Watanabe, 1957)¹¹ - Extrator HCl 1N (Olsen & Sommers, 1982)

Tabela 10 - Resultados das análises de micronutrientes em mg dm^{-3} .

Características	Teor
Boro ⁽²⁾	0,5
Boro ⁽³⁾	0,2
Cobre-DTPA	0,4
Cobre-Mehlich 1	1,2
Cobre-Mehlich 3	1,5
Ferro-DTPA	55,0
Ferro-Mehlich 1	45,0
Ferro-Mehlich 3	86,5
Manganês-DTPA	6,5
Manganês-Mehlich 1	11,1
Manganês-Mehlich 3	4,1
Zinco-DTPA	0,3
Zinco-Mehlich 1	2,7
Zinco-Mehlich 3	1,5

¹ - Extrator $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 0,1%² - Extrator H_2O quenteTabela 11 - Resultados da análise granulométrica¹.

Amostra	%
Areia	52
Limo	11
Argila	37
Floculação	100
Classe Textural	Franco argilo arenoso

¹ Classes de diâmetro (mm):

Areia = 2 - 0,05

Limo = 0,05 - 0,002

Argila = < 0,002

4.4. Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial (4 x 4 x 6), ou seja, 4 doses (Alvarez & Fonseca, 1990), 4 fontes de fósforo e 6 épocas de corte com 3 repetições. Os tratamentos foram os da Tabela 12 e o esquema da análise de variância o da Tabela 13.

Tabela 12 - Fontes e doses dos adubos fosfatados:

Tratamentos	Doses de P (mg kg ⁻¹)
Testemunha	0
Superfosfato triplo	50
	100
	200
	200
Termofosfato MG Yoorin	50
	100
	200
	200
Fosfato natural da Carolina do Norte	50
	100
	200
	200
Fosfato natural de Arad	50
	100
	200
	200

Os resultados foram submetidos à análise de variância (teste F) de acordo com delineamento proposto. Os resultados após análise da variância, foram comparados através do teste de médias da combinação de diferentes fatores com o auxílio do teste de Tukey (5%), de correlações e regressões até o 2º grau (Pimentel-Gomes, 1990).

A avaliação dos fosfatos foi realizada através do cálculo do Índice Eficiência Agronômica (IEA) e Equivalente Superfosfato Triplo (E_qSPT), descritos por Chien & Hammond (1978) e Goedert et al. (1985):

$$IEA (\%) = \frac{P_n - P_0}{P_{SPT} - P_0} \times 100$$

$$E_{qSPT} (\%) = \frac{P_n}{P_{SPT}} \times 100$$

sendo

P_n : produção obtida com a rocha fosfatada na dose n ;

P_0 : produção da testemunha (0 mg kg^{-1} de P);

P_{SPT} : produção obtida com a fonte solúvel na dose n .

Além desses fez-se também o cálculo do Índice de Eficiência (IE), com o seguinte procedimento:

$$\frac{dy}{dx} = ax^2 + bx + c$$

$$IE = \frac{\text{Produção máxima estimada}}{\text{Dose máxima estimada}} \times 100$$

sendo

x : dose máxima estimada

y : produção máxima estimada

Tabela 13 - Esquema da análise de variância:

Causas de variação	Grau de liberdade
Fontes (a)	3
Doses (b)	3
Época de colheita (c)	5
a x b	9
a x c	15
b x c	15
a x b x c	45
(Tratamentos)	(95)
Resíduo	192
Total	287

4.5. Calagem, adubação e inoculação

4.5.1. Calagem

Foi feita a calagem 30 dias antes do plantio visando elevar o índice de saturação por bases ao valor de 50% para centrosema e 70% para alfafa, utilizando calcário com as seguintes características: 40% de CaO; 15% de MgO; PN 108% e PRNT 86%.

4.5.2. Adubação

Os nutrientes foram fornecidos usando-se soluções preparadas conforme se vê na Tabela 14. Após a incubação com calcário, adubos e doses de P, foi coletada uma amostra de cada tratamento.

4.5.3. Adubação de manutenção

No segundo e quarto cortes foram efetuadas as adubações de manutenção, consistindo de sulfato de potássio (K_2SO_4) e no terceiro corte foi efetuada a adubação com micronutrientes (B, Cu, Mn e Zn); foram utilizadas as soluções preparadas conforme a Tabela 14.

4.5.4. Inoculação das sementes

O nitrogênio foi suprido com as estirpes de *Rhizobium* específicas para centrosema e alfafa, provenientes do CNPBS - EMBRAPA, fazendo-se a inoculação das sementes, juntamente com as soluções de cobalto e molibdênio de acordo com a Tabela 14.

4.6. Plantio

Após a determinação do poder germinativo das sementes escarificadas foi feita a inoculação e posteriormente o plantio das duas leguminosas (alfafa e centrosema), mantendo-se 5 plantas uniformes por vaso.

4.7. Características dos fertilizantes fosfatados

Os fertilizantes fosfatados, listados na Tabela 15, foram adicionados ao solo 30 dias após a calagem.

4.8. Irrigação e manutenção da umidade do solo

Foi efetuada a irrigação dos vasos com água destilada para atingir 70% do valor total de poros (VTP). Os vasos foram pesados diariamente a fim de se determinar a quantidade de água a ser reposta.

Tabela 14 - Composição das soluções usadas no ensaio.

Produto	Elemento	mg kg ⁻¹	Gramas do produto em 1 litro de água
KCl	K	50,0	11,60 ⁽¹⁾
	Cl	44,0	-
K ₂ SO ₄	S	50,0	15,80 ⁽²⁾
	K	121,0	-
H ₃ BO ₃	B	0,5	0,87 ⁽³⁾
CoCl ₂ .2H ₂ O	Co	0,1	0,03 ⁽⁴⁾
CuSO ₄ .5H ₂ O	Cu	1,5	2,23 ⁽³⁾
FeSO ₄ .7H ₂ O	Fe	5,0	2,48 ⁽³⁾
MnSO ₄ .H ₂ O	Mn	5,0	3,83 ⁽³⁾
H ₂ MoO ₄	Mo	0,1	0,02 ⁽³⁾
ZnSO ₄ .7H ₂ O	Zn	5,0	4,83 ⁽³⁾

(1) Utilizar 50 ml de solução por vaso de 5 kg de terra.

(2) Utilizar 100 ml de solução por vaso de 5 kg de terra.

(3) Utilizar 30 ml de solução por vaso de 5 kg de terra.

(4) aplicado junto com a semente.

4.9. Colheita e análise do material.

O primeiro corte foi realizado 3 meses após o plantio (12/02/1996); os seguintes foram realizados a cada 30 dias (12/03; 12/04; 12/05; 12/06; 12/07;

12/08/1996). Posteriormente o material foi separado em caule e folha e no último corte, em caule, folha e raiz sendo colocados em saquinhos de papel e levados para a estufa a 65°C, até obtenção do peso constante. Após a moagem foram determinados os teores de N, P, Ca, Mg, Cu, Fe, Mn e Zn conforme Malavolta et al. (1989).

Tabela 15 - Características dos adubos fosfatados.

Característica %	Fontes			
	FCN ¹	Yoorin	Fosf. de Arad	SPT ²
P₂O₅				
Total	30,0	18,0	33,0	43,0
Solúvel em água	0,0	0,0	0,0	37,9
Solúvel em ácido cítrico	9,3	16,5	9,9	39,0
Solúvel em citrato + água	5,3	7,5	2,9	41,6
Ca	34,0	20,0	37,0	20,0
Mg	0,0	9,0	1,2	0,0

¹ Fosfato natural da Carolina do Norte

² Superfosfato triplo

4.10. Extração e determinação do pH, P, Ca e Mg do solo.

Para caracterizar a disponibilidade de P no solo, amostras de cada tratamento e de cada época de corte foram analisadas por três extratores: método da resina trocadora de íons (Raij et al., 1986), Mehlich 1 ou Carolina do Norte (Mehlich, 1978; Olsen & Dean, 1986) e Mehlich 3 (Mehlich, 1984). Para determinação do Ca e Mg, utilizou-se os extratores KCl 1N (Vettori, 1969), Mehlich 3 (Mehlich, 1984) e resina trocadora de íons (Raij et al., 1986).

O pH em solução 0,01M de CaCl₂ foi determinado conforme a metodologia descrita pela EMBRAPA (1979).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Produção de matéria seca

As médias das produções totais e de cada época de corte do material vegetal seco da parte aérea, são apresentadas na Tabela 16 de acordo com cada leguminosa, épocas de corte, fontes e doses de P aplicada. Verifica-se que tanto a alfafa quanto a centrosema responderam acentuadamente à adubação fosfatada, sendo a produção muito reduzida na ausência de P, nos seis cortes realizados, evidenciando a importância do P para o desenvolvimento dessas duas leguminosas forrageiras.

Para a obtenção da dose de cada adubo que garantisse a produção máxima esperada da alfafa e da centrosema, utilizou-se a equação polinomial do 2º grau, cujas as equações e representações estão nas Figuras 1 e 2 e Tabelas 17 e 18 e Apêndices 1, 2, 3 e 4, respectivamente. Verifica-se que as leguminosas apresentaram respostas na produção de matéria seca com o aumento das doses de P em todas as fontes havendo uma tendência de estabilização nas doses mais elevadas, fato esse, mais acentuado na centrosema. O mesmo foi observado por Crespo & Curbelo (1990) e Mesa & Hernández (1996), que, nas condições de Cuba, obtiveram incremento pouco significativo nas produções de matéria seca (MS) nas doses mais elevadas de P. Resultados discordantes, entretanto, foram obtidos por Kerridge & Ratcliff (1982) e Gilbert et al. (1992), em condições de casa de vegetação, que observaram efeito linear para as doses de P. O comportamento da alfafa foi semelhante aos observados por Nielson & Owens (1964), Reid & Jung (1974), Meyer & Martin (1976), Smith & Powell (1979) e James et al. (1995b).

Tabela 16 - Produção de matéria seca total (caule e folha) obtidas em função das fontes e doses (mg kg^{-1}) de P nos seis cortes realizados¹.

Alfafa							
Fosfato natural da Carolina do Norte							
Doses	Cortes						Total
	1	2	3	4	5	6	
0	1,84AB	1,38B	3,03A	3,21A	1,66AB	1,08B	12,20
50	4,06B	3,46B	5,54AB	6,82A	5,16AB	5,54AB	30,58
100	4,63B	5,92AB	6,26AB	7,36A	6,42AB	4,89B	35,48
200	4,50B	7,28AB	6,66AB	8,71A	5,67AB	6,47AB	39,29
Termofosfato Yoorin							
0	1,84AB	1,38B	3,03A	3,21A	1,66AB	1,08B	12,20
50	5,57BC	7,14AB	5,77ABC	7,81A	4,30CD	2,82D	33,41
100	5,91B	10,00A	7,97AB	9,86A	6,47B	3,47C	43,68
200	6,48C	11,13A	9,07AB	10,93A	7,30BC	5,26C	50,17
Fosfato natural de Arad							
0	1,84AB	1,38B	3,03A	3,21A	1,66AB	1,08B	12,20
50	4,17A	4,60A	6,08A	4,96A	4,79A	3,79A	28,39
100	4,81B	6,22AB	6,83AB	7,82A	5,54B	4,97B	36,19
200	4,24CD	7,55AB	6,38BC	8,63A	6,69AB	3,74D	37,23
Superfosfato triplo							
0	1,84AB	1,38B	3,03A	3,21A	1,66AB	1,08B	12,20
50	5,17B	6,43AB	5,84AB	7,43A	4,32BC	2,84C	32,03
100	4,08B	5,90B	6,29AB	8,26A	4,70B	4,80B	34,03
200	6,85BC	9,03AB	7,53BC	10,44A	6,87BC	6,19C	46,91
Centrosema							
Fosfato natural da Carolina do Norte							
0	5,43A	5,22A	6,61A	5,60A	1,81B	1,57B	26,24
50	9,29C	11,13B	11,44AB	13,06A	6,30D	6,11D	57,33
100	10,67B	13,58A	10,32B	11,27AB	6,41C	4,99C	57,24
200	12,99AB	13,02AB	11,38B	14,01A	7,46C	5,17C	64,03
Termofosfato Yoorin							
0	5,43A	5,22A	6,61A	5,60A	1,81B	1,57B	26,24
50	12,45B	15,55A	14,06AB	11,33B	6,35C	3,58D	63,32
100	13,62A	15,51A	13,20A	13,21A	6,91B	4,49B	66,94
200	17,35A	17,36A	13,41B	12,41B	7,36C	4,57D	72,46
Fosfato natural de Arad							
0	5,43A	5,22A	6,61A	5,60A	1,81B	1,57B	26,24
50	11,44A	12,50A	12,63A	13,47A	6,97B	3,72C	60,73
100	11,20AB	13,19A	10,30B	12,37AB	7,47C	3,60C	58,33
200	13,40AB	14,19A	10,66BC	11,92AB	7,95C	3,86D	61,98
Superfosfato triplo							
0	5,43A	5,22A	6,61A	5,60A	1,81B	1,57B	26,24
50	11,62AB	13,58A	10,72B	9,76B	5,48C	3,14D	54,30
100	11,63B	13,65A	13,36AB	12,81AB	6,44C	4,68C	62,57
200	13,46B	16,48A	11,53B	13,93AB	7,35C	4,80C	67,55

¹ Médias seguidas por letras maiúsculas distintas diferem entre si na mesma linha a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A diminuição mais acentuada na produção de matéria seca da centrosema em função das épocas de corte (Tabela 18) pode ser explicada pelos argumentos de Smith (1972) e Sheaffer et al. (1988), que após cada corte, o processo de rebrote se efetua às custas das reservas armazenadas nas raízes e na coroa, enquanto com o corte contínuo ocorre um menor acúmulo de carboidratos não estruturais que são mobilizados para a parte aérea da planta. Por esta razão, após sucessivos cortes, as reservas consumidas para o crescimento diminuem até que a planta apresente menor índice de área foliar. Segundo Pupo (1979), o número de cortes anuais recomendados para a centrosema é três, e no presente estudo foram dados seis cortes em nove meses de condução do experimento.

Com relação às fontes de P_2O_5 , verificou-se nas duas leguminosas que, com superfosfato triplo (SPT), houve uma queda na produção de matéria seca depois do 3º corte mais acentuada que a verificada com os fosfatos naturais. Do mesmo modo, em cada corte, foram estimadas doses maiores do STP e termofosfato Yoorin para alcançar a produção máxima (Tabelas 17 e 18), resultado semelhante foi também obtido por Yost et al. (1982) e Moreira et al. (1996). Devido à sua alta solubilidade em água (37,9%) teria ocorrido maior absorção nos primeiros cortes e maior fixação nos demais.

As maiores produções de matéria seca da parte aérea (MS) da alfafa e da centrosema, na soma dos seis cortes estimadas pela equação polinomial do 2º grau foram de 49,9 e 75,6 g vaso⁻¹, respectivamente, (Tabela 19 e Figuras 1 e 2) sendo obtidas com o termofosfato Yoorin. Diversos trabalhos têm evidenciado resultados satisfatórios apresentados pelos termosfosfatos, os quais, demonstram ser tão eficientes quanto os fertilizantes solúveis em água (Feitosa et al., 1978; Morais et al., 1979; Goedert & Lobato, 1984; Stefanutti et al., 1994; Casanova, 1995; Moreira et al., 1996). Este resultado tem sido atribuído, segundo Fernandes et al. (1984) e Castro (1991), aos efeitos nutricionais e corretivos dos silicatos de cálcio e magnésio presentes nestes materiais, sendo que neste caso o aumento na produção de MS não estaria refletindo apenas a disponibilidade de fósforo destes produtos. O Yoorin por sua granulometria fina que auxilia a disponibilidade, comportou-se de modo semelhante ao superfosfato triplo (Tabelas 17, 18 e 19).

Por não apresentarem solubilidade em água e baixa solubilidade em ácido cítrico, os resultados menos expressivos na produção de MS nos primeiros cortes foram obtidos com os fosfatos naturais da Carolina do Norte (FCN) e de Arad. As produções aumentaram nos cortes subsequentes, dando resposta similar no terceiro corte e bem superior no sexto corte na centrosema. Na alfafa a partir do quarto corte, as produções foram semelhantes, situação que permaneceu até o sexto corte (Tabelas 17 e 18). Contudo, a produção acumulada foi superior nas fontes mais solúveis, apesar de a produção obtida com os fosfatos naturais ter aumentado com o tempo. Em outras palavras, a maior produção comparativa inicial obtida com as fontes mais solúveis não foi compensada com o decorrer do tempo, resultado este mais evidenciado na alfafa (Tabela 19). Estes dados confirmam as observações de Yost et al. (1982), Goedert (1983), Shand (1983), Day (1983), Oliveira et al. (1984), León et al. (1986) e Delistoianov et al. (1992), os quais postularam que, mesmo apresentando maior efeito residual, os fosfatos naturais reativos ou não, dão uma produção inferior ao fosfatos mais solúveis.

Comparando as produções de MS da parte aérea (Figuras 1 e 2 e Tabelas 17, 18 e 19), observa-se nas duas leguminosas que os dois fosfatos naturais tiveram comportamentos semelhantes. Este resultado concorda com os obtidos por Shand (1983) e León et al. (1986). Discorda, porém, dos obtidos por Rajan et al., (1992) que, ao estudarem onze fosfatos naturais em três tipos de solos, observaram maiores rendimentos com o FCN quando comparado com o fosfato de Arad.

As produções de matéria seca da raiz (g vaso^{-1}), coletadas após o sexto corte foram semelhantes, não apresentando diferença estatisticamente significativa ($P < 0,05$) entre as quatro fontes e doses de fósforo na alfafa e na centrosema (Apêndice 5).

Fوسفato da Carolina do Norte

Termofوسفato Yoorin

Fوسفato de Arad

Superfوسفato triplo

Figura 1 - Equações de regressão da produção total de matéria seca da alfafa em função das fontes e doses utilizadas - média de 3 repetições (* significativo a 5% de probabilidade).

Fósforo da Carolina do Norte

Termofósforo Yoorin

Fósforo de Arad

Superfósforo triplo

Figura 2 - Equações de regressão da produção total de matéria seca da centrosema em função das fontes e doses utilizadas - média de 3 repetições (* significativo a 5% de probabilidade).

Tabela 17 - Equações de regressão ajustadas entre a produção de matéria seca da parte aérea da alfafa em g vaso^{-1} (Y), como variável dependente de doses de fósforo aplicadas (X) no solo, em mg kg^{-1} de solo em função das épocas de corte.

1ª época de corte				
Tratamento	Equações	R ²	Dose ⁽¹⁾	Produção ⁽²⁾
Fosf. da Carolina do Norte	$Y = 1,754 + 0,047X - 0,0002X^2$	0,95*	117,50	4,52
Termofosfato Yoorin	$Y = 1,865 + 0,068X - 0,0002X^2$	0,95*	170,00	7,65
Fosfato de Arad	$Y = 1,716 + 0,048X - 0,0002X^2$	0,98*	120,00	4,60
Superfosfato triplo	$Y = 1,965 + 0,041X - 0,0001X^2$	0,88*	205,00	6,17
2ª época de corte				
Fosf. da Carolina do Norte	$Y = 1,245 + 0,058X - 0,0001X^2$	0,99*	290,00	9,66
Termofosfato Yoorin	$Y = 1,566 + 0,119X - 0,0004X^2$	0,98*	148,75	10,42
Fosfato de Arad	$Y = 1,452 + 0,068X - 0,0002X^2$	0,99*	170,00	7,23
Superfosfato triplo	$Y = 1,791 + 0,064X - 0,0001X^2$	0,93*	320,00	12,03
3ª época de corte				
Fosf. da Carolina do Norte	$Y = 2,612 + 0,053X - 0,0002X^2$	0,99*	132,50	6,12
Termofosfato Yoorin	$Y = 2,589 + 0,075X - 0,0002X^2$	0,99*	187,50	9,62
Fosfato de Arad	$Y = 2,651 + 0,059X - 0,0002X^2$	0,99*	147,50	7,00
Superfosfato triplo	$Y = 2,836 + 0,055X - 0,0002X^2$	0,95*	137,50	6,62
4ª época de corte				
Fosf. da Carolina do Norte	$Y = 3,461 + 0,063X - 0,0002X^2$	0,95*	157,50	8,42
Termofosfato Yoorin	$Y = 3,329 + 0,098X - 0,0003X^2$	0,99*	163,33	11,33
Fosfato de Arad	$Y = 2,989 + 0,058X - 0,0001X^2$	0,97*	290,00	11,40
Superfosfato triplo	$Y = 3,426 + 0,079X - 0,0002X^2$	0,98*	197,50	11,23
5ª época de corte				
Fosf. da Carolina do Norte	$Y = 1,645 + 0,076X - 0,0003X^2$	0,99*	126,67	6,46
Termofosfato Yoorin	$Y = 1,585 + 0,054X - 0,0001X^2$	0,99*	270,00	8,88
Fosfato de Arad	$Y = 1,811 + 0,056X - 0,0002X^2$	0,98*	140,00	5,73
Superfosfato triplo	$Y = 1,890 + 0,041X - 0,00008X^2$	0,95*	256,25	7,14
6ª época de corte				
Fosf. da Carolina do Norte	$Y = 1,347 + 0,058X - 0,0002X^2$	0,88*	145,00	5,55
Termofosfato Yoorin	$Y = 1,122 + 0,034X - 0,00007X^2$	0,96*	242,86	5,25
Fosfato de Arad	$Y = 0,941 + 0,053X - 0,0002X^2$	0,99*	132,50	4,45
Superfosfato triplo	$Y = 0,949 + 0,042X - 0,00009X^2$	0,99*	233,33	5,85

^{(1) e (2)} Produção (g vaso^{-1}) e dose (g kg^{-1}) estimada pela equação de regressão.

* significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 18 - Equações de regressão ajustadas entre a produção de matéria seca da parte aérea da centrosema em g vaso⁻¹ (Y), como variável dependente de doses de fósforo aplicadas (X) no solo, em mg kg⁻¹ de solo em função das épocas de corte.

1ª época de corte				
Tratamento	Equações	R ²	Dose ⁽¹⁾	Produção ⁽²⁾
Fosf. da Carolina do Norte	$Y = 5,187 + 0,068X - 0,0003X^2$	0,99*	113,30	9,04
Termofosfato Yoorin	$Y = 5,573 + 0,119X - 0,0003X^2$	0,97*	198,33	17,37
Fosfato de Arad	$Y = 5,580 + 0,093X - 0,0003X^2$	0,91*	155,00	12,79
Superfosfato triplo	$Y = 5,706 + 0,118X - 0,0004X^2$	0,91*	147,50	14,41
2ª época de corte				
Fosf. da Carolina do Norte	$Y = 5,962 + 0,108X - 0,0004X^2$	0,98*	135,00	13,25
Termofosfato Yoorin	$Y = 6,393 + 0,159X - 0,0005X^2$	0,93*	159,00	19,03
Fosfato de Arad	$Y = 6,167 + 0,126X - 0,0005X^2$	0,94*	126,00	14,11
Superfosfato triplo	$Y = 6,406 + 0,127X - 0,0004X^2$	0,90*	158,75	16,49
3ª época de corte				
Fosf. da Carolina do Norte	$Y = 7,187 + 0,086X - 0,0002X^2$	0,74*	215,00	16,43
Termofosfato Yoorin	$Y = 7,273 + 0,104X - 0,0004X^2$	0,83*	130,00	14,03
Fosfato de Arad	$Y = 7,187 + 0,081X - 0,0003X^2$	0,78*	101,25	12,31
Superfosfato triplo	$Y = 6,476 + 0,093X - 0,0003X^2$	0,99*	155,00	13,68
4ª época de corte				
Fosf. da Carolina do Norte	$Y = 6,821 + 0,085X - 0,0003X^2$	0,80*	141,67	12,84
Termofosfato Yoorin	$Y = 6,363 + 0,102X - 0,0004X^2$	0,96*	127,50	14,03
Fosfato de Arad	$Y = 6,767 + 0,100X - 0,0004X^2$	0,77*	125,00	13,02
Superfosfato triplo	$Y = 5,850 + 0,090X - 0,0002X^2$	0,99*	225,00	15,98
5ª época de corte				
Fosf. da Carolina do Norte	$Y = 2,099 + 0,078X - 0,0003X^2$	0,92*	130,00	7,17
Termofosfato Yoorin	$Y = 1,802 + 0,089X - 0,0003X^2$	0,99*	148,33	8,40
Fosfato de Arad	$Y = 2,145 + 0,091X - 0,0003X^2$	0,91*	151,67	9,06
Superfosfato triplo	$Y = 1,829 + 0,068X - 0,0002X^2$	0,99*	170,00	7,61
6ª época de corte				
Fosf. da Carolina do Norte	$Y = 1,852 + 0,098X - 0,0002X^2$	0,86*	245,00	13,86
Termofosfato Yoorin	$Y = 1,714 + 0,036X - 0,00008X^2$	0,91*	225,00	5,76
Fosfato de Arad	$Y = 1,386 + 0,081X - 0,0002X^2$	0,99*	202,50	12,22
Superfosfato triplo	$Y = 1,450 + 0,047X - 0,0001X^2$	0,99*	235,00	6,67

^(1 e 2) Produção (g vaso⁻¹) e dose (mg kg⁻¹) estimada pela equação de regressão.

* significativo a 5% de probabilidade.

O Índice de Eficiência (IE) dos adubos fosfatados, obtidos através das equações e as respectivas doses e produções de matéria seca da parte aérea são apresentadas na Tabela 20.

Tabela 19 - Doses (mg kg^{-1}), produção de matéria seca da parte aérea (g vaso^{-1}) e Índice de Eficiência (%) estimada pela equação de regressão da soma dos 6 cortes realizados¹.

Alfafa			
Fonte	Dose	Produção	Índice de Eficiência
FCN	172,0	41,8	24,3bDE
Yoorin	170,8	49,9	29,2aCD
Arad	107,8	34,0	31,5aC
SPT	197,5	44,1	22,3bE
Centrosema			
FCN	158,3	66,7	42,1bB
Yoorin	152,5	75,6	49,6aA
Arad	137,8	67,2	48,8aA
SPT	136,0	64,7	47,6aAB

¹ Médias seguidas por letras distintas minúsculas dentro de cada leguminosa diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey. Médias seguidas por letras distintas maiúsculas diferem entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey para comparação das fontes e das duas leguminosas.

Percebe-se que na soma dos seis cortes, a centrosema apresentou maior Índice de Eficiência (IE). Necessitou de doses menores para obtenção do máximo de resposta na produção de MS. Por este motivo o aproveitamento do P pela leguminosa tropical, medido pelo IE, foi 41% na média maior que a alfafa. Tal resultado confirma as observações feitas por Guss et al. (1990), que, ao trabalharem em condições de casa de vegetação com quatro leguminosas em cinco tipos de solos, tiveram melhor resposta na utilização de P com a centrosema.

5.2. Quantidade e teor de P absorvido

O teor de P presente na matéria seca do caule, folha e total (caule e folha) das duas leguminosas aumentou linearmente ($P < 0,05$) em razão das doses de fósforo aplicadas nas quatro fontes utilizadas quando se considerou os valores encontrados em todos os cortes (Tabelas 20). Resultados similares foram apresentados por Nielson & Owens (1964), Goss & Stewart (1979), Hill Jr & Lanyon (1983) e James et al., (1995a) na alfafa e por Werner & Monteiro (1974) e Mesa & Hernández (1996) na centrosema.

Tabela 20 - Relação entre os teores (g kg^{-1}) e as quantidades (mg vaso^{-1}) de P na parte aérea em respostas as doses de P (mg kg^{-1}).

Alfafa		
Fonte	Teor	Quantidade
FCN	$Y = 2,000 + 0,004X$ $R^2 = 0,75^*$	$Y = 5,719 + 0,106X$ $R^2 = 0,95^*$
Yoorin	$Y = 1,961 + 0,006X$ $R^2 = 0,88^*$	$Y = 6,085 + 0,068X$ $R^2 = 0,85^*$
Arad	$Y = 1,946 + 0,005X$ $R^2 = 0,87^*$	$Y = 5,573 + 0,071X$ $R^2 = 0,88^*$
SPT	$Y = 2,033 + 0,007X$ $R^2 = 0,84^*$	$Y = 5,668 + 0,101X$ $R^2 = 0,95^*$
Centrosema		
FCN	$Y = 1,477 + 0,005X$ $R^2 = 0,81^*$	$Y = 8,783 + 0,084X$ $R^2 = 0,86^*$
Yoorin	$Y = 1,450 + 0,006X$ $R^2 = 0,89^*$	$Y = 10,015 + 0,109X$ $R^2 = 0,84^*$
Arad	$Y = 1,380 + 0,004X$ $R^2 = 0,92^*$	$Y = 9,153 + 0,075X$ $Y = 0,79^*$
SPT	$Y = 1,443 + 0,005X$ $R^2 = 0,87^*$	$Y = 8,727 + 0,097X$ $R^2 = 0,88^*$

* significativo a 5% de probabilidade.

Verifica-se, na Tabela 21, um teor mais elevado de P na alfafa, que não se refletiu diretamente no conteúdo de P. A centrosema mesmo com teores menores de fósforo, acumulou quantidades maiores do mesmo, visto ter produzido mais matéria seca (Tabela 22). Comparando-se os resultados obtidos com plantas cultivadas em outras condições edafoclimáticas, observou-se que, exceto a testemunha, na alfafa as concentrações de P encontradas na parte aérea (Tabelas 20 e 21) estavam de acordo com os teores citados na literatura para alfafa e centrosema bem supridas de P, $3,0 \pm 0,8$ e $2,1 \pm 0,9 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente (Neme & Nery, 1965; Werner & Mattos, 1972; Gallo et al.,

Tabela 21 - Teor (g kg⁻¹) e quantidade (mg vaso⁻¹) de P acumulado no caule e folha em resposta às doses, fontes de P e épocas de corte.

Tratamentos	Alfafa									
	1º corte				3º corte				6º corte	
	Teor		Quantidade		Teor		Quantidade		Teor	
	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha
Testemunha	1,58e	1,81d	1,34e	1,63c	1,40d	2,00b	1,30f	3,34c	1,30d	1,71b
FCN 50	2,13cd	2,23cd	3,98de	4,86bc	2,52bc	2,99a	5,70de	7,86bc	1,76bcd	3,18a
FCN 100	2,68bc	2,46bc	5,39cd	6,45abc	2,40bc	3,08a	7,54de	9,61abc	1,92bcd	2,81ab
FCN 200	2,61cd	2,87ab	4,93cd	8,44ab	2,62bc	3,19a	8,80cd	10,53ab	2,21bcd	3,21a
YOORIN 50	2,37cd	2,62bc	5,69bcd	7,62ab	2,18cd	3,08a	6,37de	8,78abc	1,77bcd	2,90a
YOORIN 100	3,38a	3,02ab	8,89ab	9,91ab	2,99ab	3,31a	12,68b	12,35a	2,31abc	3,05a
YOORIN 200	3,15ab	3,08ab	9,17a	11,00a	3,58a	3,38a	16,32a	15,24a	3,21a	3,12a
ARAD 50	2,11d	2,68abc	3,84de	5,68bc	1,91cd	2,92a	5,18e	7,50bc	1,69cd	2,50ab
ARAD 100	2,37cd	2,81abc	4,83cd	7,25ab	2,05cd	2,99a	6,72de	9,43abc	1,92bcd	3,22a
ARAD 200	2,68bc	2,64abc	4,93cd	6,34abc	2,46bc	3,21a	8,95d	10,85ab	1,98bcd	3,43a
SPT 50	3,20ab	2,77abc	7,71abc	6,29abc	2,29bc	3,21a	6,14de	10,14abc	2,01bcd	3,15a
SPT 100	3,22a	2,92ab	5,73bcd	7,80ab	2,97ab	3,35a	8,97c	10,95ab	2,52abc	2,96a
SPT 200	3,38a	3,28a	9,73a	11,68a	3,00ab	3,52a	11,52bc	12,99ab	2,68ab	3,27a
D.M.S	0,53	0,64	3,21	5,49	0,79	0,60	3,29	6,82	0,93	1,13
C.V. (%)	6,56	2,71	19,70	19,11	10,67	6,56	20,15	21,42	14,99	12,88
Tratamentos	Centrosema									
	1º corte				3º corte				6º corte	
	Teor		Quantidade		Teor		Quantidade		Teor	
	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha
Testemunha	1,12f	1,79b	2,76f	4,71g	1,12d	1,27f	3,14e	4,84e	1,10f	1,32e
FCN 50	1,47def	2,40ab	5,76ef	10,85f	1,81bc	1,48de	8,60cd	9,90cd	1,77def	2,26bcd
FCN 100	1,52de	2,52a	7,02de	14,04def	1,87bc	1,54de	7,46d	9,75cde	2,34bcd	2,86ab
FCN 200	1,47def	2,49ab	8,69cde	16,26cd	2,20abc	1,62d	10,05abc	11,05bcd	2,37bcd	2,86ab
YOORIN 50	1,60cde	2,52a	9,17cd	16,00cde	1,79c	1,87c	9,04bcd	15,46b	1,98cde	1,79de
YOORIN 100	1,79bcd	2,55a	11,74bc	18,00bc	2,06abc	1,98bc	10,38abc	15,05b	2,47abc	2,59abc
YOORIN 200	2,20a	2,62a	18,39a	25,41a	2,29abc	2,40a	10,95abc	20,71a	2,68ab	3,11a
ARAD 50	1,32ef	2,26ab	6,96de	12,50ef	1,76cd	1,40ef	8,80cd	10,01d	1,48cf	2,18cd
ARAD 100	1,30ef	2,234ab	6,94de	12,62ef	2,04abc	1,42ef	8,22cd	9,87cd	1,77def	2,62abc
ARAD 200	1,50de	2,58a	9,69cd	16,46cd	2,62a	1,50de	11,84ab	9,78cd	2,32bcd	2,89a
SPT 50	1,58cde	2,12ab	9,64cd	13,17df	1,81bc	1,53de	7,42d	8,94d	2,06bcde	2,20cd
SPT 100	1,93abc	2,32ab	11,95bc	14,76d	2,00abc	1,89bc	10,18abcd	14,36bc	2,61abc	2,95a
SPT 200	2,12ab	2,62a	14,84b	20,12b	2,45ab	2,11b	11,91a	14,07bc	3,08a	3,12a
D.M.S	0,35	0,73	3,81	3,53	0,67	0,16	2,80	4,92	0,67	0,62
C.V. (%)	7,43	10,22	18,66	20,03	10,53	3,27	8,71	19,77	10,53	8,25

¹ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

1974; Plancquaert, 1977; Smith, 1986; Walworth & Sumner, 1990; Fontes et al., 1993; Mesa & Hernández, 1996; Moreira et al., 1997).

Tabela 22 - Quantidade de P acumulado na matéria seca na soma de todos os cortes, em resposta às doses e fontes de P.

Tratamentos	Alfafa		Centrosema	
	mg	Δ%	mg	Δ%
Testemunha	20,39	0	33,53	0
FCN 50	71,84	252	102,34	205
FCN 100	90,79	345	110,31	229
FCN 200	109,86	439	143,50	328
YOORIN 50	76,68	276	100,75	200
YOORIN 100	121,37	495	144,61	331
YOORIN 200	155,91	665	187,76	460
ARAD 50	61,08	200	96,51	188
ARAD 100	86,98	327	114,24	241
ARAD 200	101,30	397	132,86	296
SPT 50	78,72	386	94,27	281
SPT 100	101,61	398	131,06	291
SPT 200	149,88	635	160,09	377

Δ% - Incremento em relação a testemunha.

Como indica a Tabela 24, preparada usando-se todos os dados (teor de P) e MS produzida nos 6 cortes da alfafa, há uma relação linear significativa entre g kg^{-1} de P e g MS por vaso. No caso da centrosema a tendência é quadrática e não significativa. Tais resultados podem ser explicados pelo fato já apontado (5.1): a produção de MS da centrosema praticamente não cresceu nas doses superiores a 50 mg kg^{-1} de P, enquanto a da alfafa o fez. Isto, por sua vez, indicando níveis interiores de P suficientes mais baixos na centrosema do que para a alfafa, como se vê nas Tabelas 21 e 23. Resultados semelhantes foram encontrados por Nielson & Owens (1964) e Fageria & Baligar (1989) na alfafa, por Crespo & Curbelo (1990) na centrosema e por Andrews & Robins (1969a), trabalhando também em vasos, com ambas leguminosas.

Tabela 23 - Correlação entre o teor de fósforo (g kg^{-1}) - variável X, presente na matéria seca total (caule e folha) e a produção de matéria seca da alfafa e centrosema em g vaso^{-1} - variável Y.

Alfafa		
Fonte	Equação	r
FCN	$P = -5,605 + 4,346(\text{teor})$	0,86*
Yoorin	$P = -4,108 + 3,913(\text{teor})$	0,71*
Arad	$P = -4,620 + 3,875(\text{teor})$	0,80*
SPT	$P = -3,784 + 3,395(\text{teor})$	0,81*
Centrosema		
FCN	$P = -25,999 + 36,027(\text{teor}) - 8,887(\text{teor})^2$	0,66 ^{ns}
Yoorin	$P = -28,678 + 37,225(\text{teor}) - 8,496(\text{teor})^2$	0,62 ^{ns}
Arad	$P = -28,643 + 40,874(\text{teor}) - 10,617(\text{teor})^2$	0,60 ^{ns}
SPT	$P = -24,271 + 33,148(\text{teor}) - 7,801(\text{teor})^2$	0,59 ^{ns}

* significativo a 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

Houve também efeito significativo na alfafa e na centrosema quando se comparou as doses de P com a produção de matéria seca, teor foliar e quantidade de P presente na raiz (Apêndice 5). Pelo teste de tukey ($P < 0,05$), observa-se que na média de todas as doses, teores e quantidades de P presentes na matéria seca da parte aérea foram pouco afetados pelas épocas de corte (Apêndice 6).

5.3. Índice de Eficiência Agronômica e Equivalente Superfosfato Triplo

O “Índice de Eficiência Agronômica” (IEA) e o “Equivalente Superfosfato triplo” (E_{qSPT}) foram calculados com base na produção de matéria seca, utilizando a mesma dose de P para as fontes e adotou-se o superfosfato triplo (SPT) como fonte de referência.

O IEA e E_q SPT relativos aos dados de produção de matéria seca total e de cada corte, em função das fontes de P, doses e de cada leguminosa são apresentados na Tabela 24.

Os resultados obtidos através da MS da parte aérea da alfafa e centrosema, mostraram que o termofosfato Yoorin apresentou a mais alta eficiência na soma de todos os cortes. Estes resultados concordam com os obtidos com outras culturas por Goedert & Lobato (1984), Vasconcelos et al. (1986b), Sanzonowicz et al. (1987), Goedert et al. (1990) e Brasil et al. (1996), corroborando a elevada eficiência deste fosfato descrita por Alcarde & Ponchio (1979) e Vasconcelos et al. (1986a), que ao avaliarem a solubilidade do termofosfato extraído com ácido cítrico, obtiveram um teor relativamente elevado, o mesmo acontecendo em solução neutra de citrato de amônio. Quanto maior for a solubilidade em ácidos orgânicos, maior rápida deve ser tanto a absorção pelas plantas como a adsorção do P pelo solo.

Com alfafa o FCN e Arad na dose 100 mg kg^{-1} mostraram IEA e E_q SPT maiores que o SPT, sendo, pouco inferiores nas duas outras doses. Com a centrosema verificou-se que na dose de 50 mg kg^{-1} de Arad mostrou IEA e E_q SPT maiores que o SPT (Tabela 23).

Os resultados do IEA e E_q SPT, relativos à produção de matéria seca em cada corte, feitos na alfafa e centrosema, concordam com os obtidos por Chien & Hammond (1978), Khasawneh & Doll (1978), Rein et al. (1994) e Brasil et al. (1996) mostrando que o efeito residual do FCN e fosfato de Arad tende a equiparar-se ao das fontes mais solúveis (SPT e Yoorin).

Tabela 24 - Índice de eficiência agronômica (IEA - %) e equivalente superfosfato triplo (EqST - %) em função das fontes de fósforo e épocas de corte.

Alfafa														
	1º corte		2º corte		3º corte		4º corte		5º corte		6º corte		Total	
	IEA	EqSPT	IEA	EqSPT	IEA	EqSPT	IEA	EqSPT	IEA	EqST	IEA	EqSPT	IEA	EqSPT
FCN 50	79,7	86,8	48,1	60,5	70,7	83,7	85,4	91,7	122,7	113,6	209,5	173,2	92,6a	95,5a
Y 50	120,7	113,5	131,8	124,2	97,8	98,8	97,2	98,4	85,0	91,0	115,3	110,2	131,2a	120,1a
Arad 50	75,7	84,2	74,1	80,3	82,7	90,4	65,1	80,1	120,2	112,1	115,8	110,6	90,0a	94,0a
FCN 100	173,9	144,5	179,0	160,7	145,5	126,7	121,5	113,6	138,6	124,9	76,8	81,9	106,9ab	104,3ab
Y 100	121,9	113,2	100,4	100,3	71,5	83,3	75,7	84,7	157,1	136,9	114,0	110,9	133,4a	122,2a
Arad 100	121,5	112,9	107,1	105,4	135,5	120,8	82,8	89,2	128,1	118,1	104,8	103,7	103,6b	102,0b
FCN 200	66,5	75,0	77,2	80,6	82,4	88,5	75,9	83,3	71,8	78,5	114,7	112,3	91,5b	94,0b
Y 200	100,8	100,6	127,4	123,3	131,2	120,5	106,8	104,7	107,4	105,6	89,6	91,3	118,2a	113,7a
Arad 200	54,3	65,8	80,8	83,7	89,7	93,3	77,8	84,6	96,0	96,9	63,9	69,8	82,4b	87,0b
Centrosema														
FCN 50	46,4	68,6	68,8	81,9	145,1	115,1	204,4	135,8	165,8	140,3	216,0	167,3	97,5a	98,1a
Y 50	98,8	98,1	115,2	108,8	201,5	134,0	167,4	123,1	143,3	126,5	128,0	116,2	124,6a	113,1a
Arad 50	79,1	87,7	86,3	92,1	161,3	120,5	215,5	139,6	190,2	155,2	113,5	107,8	112,9a	106,4a
FCN 100	68,4	81,2	87,5	92,8	61,0	81,3	77,5	88,1	102,9	102,2	123,4	116,2	77,5b	98,93b
Y 100	114,3	108,5	123,3	113,5	99,2	99,6	91,6	95,6	123,6	117,2	100,0	100,0	107,34a	108,9a
Arad 100	79,2	87,7	95,2	97,2	71,9	86,5	82,9	91,0	155,5	111,3	120,9	114,6	94,2c	96,6ab
FCN 200	76,6	84,7	73,4	83,1	97,2	98,8	101,0	100,6	102,1	101,6	121,9	115,8	90,3b	93,7b
Y 200	135,3	123,0	110,8	106,8	138,2	116,3	74,4	85,5	100,2	100,1	118,5	113,3	113,8a	108,9a
Arad 200	80,8	87,5	75,5	84,5	90,0	95,8	82,3	89,9	99,8	99,9	90,6	93,2	87,5b	92,1b

¹ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si em cada dose de P ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.

5.4. Avaliação e comportamento dos extratores de fósforo

Para avaliar o comportamento dos extratores, foram feitos estudos de regressão entre as doses e fontes de P (Tabela 25) e de correlação entre os teores de P extraído com os teores e as produções de matéria seca do caule, folha, raiz e total (caule e folha), obtidos em seis amostragens de solo coletadas no plantio e após cada corte das plantas, com os três métodos de extração de P (resina, Mehlich 1 e Mehlich 3), são apresentadas nas Tabelas 26 e 27.

Tabela 25 - Regressão entre doses de P aplicadas e teores de P no solo, em todas as amostragens.

Alfafa			
Fonte	Extratores		
	Resina	Mehlich 1	Mehlich 3
FCN	$Y = 2,766 + 0,352X$ $R^2 = 0,90^*$	$Y = 1,267 + 0,479X$ $R^2 = 0,95^*$	$Y = 3,933 + 0,128X$ $R^2 = 0,92^*$
Yoorin	$Y = 0,866 + 0,317X$ $R^2 = 0,90^*$	$Y = 2,268 + 0,263X$ $R^2 = 0,90^*$	$Y = 2,333 + 0,224X$ $R^2 = 0,91^*$
Arad	$Y = -0,233 + 0,546X$ $R^2 = 0,95^*$	$Y = 3,000 + 0,423X$ $R^2 = 0,89^*$	$Y = 3,667 + 0,131X$ $R^2 = 0,94^*$
SPT	$Y = 1,167 + 0,391X$ $R^2 = 0,85^*$	$Y = 0,733 + 0,285X$ $R^2 = 0,83^*$	$Y = -3,300 + 0,393X$ $R^2 = 0,91^*$
Centrosema			
FCN	$Y = 1,167 + 0,283X$ $R^2 = 0,90^*$	$Y = 1,167 + 0,501X$ $R^2 = 0,93^*$	$Y = 2,333 + 0,204X$ $R^2 = 0,95^*$
Yoorin	$Y = 3,267 + 0,245X$ $R^2 = 0,85^*$	$Y = 0,633 + 0,285X$ $R^2 = 0,93^*$	$Y = 0,80 + 0,239X$ $R^2 = 0,91^*$
Arad	$Y = 0,200 + 0,573X$ $R^2 = 0,83^*$	$Y = 5,067 + 0,346X$ $R^2 = 0,88^*$	$Y = 2,467 + 0,227X$ $R^2 = 0,83^*$
SPT	$Y = -1,833 + 0,305X$ $R^2 = 0,93^*$	$Y = 4,633 + 0,254X$ $R^2 = 0,86^*$	$Y = -1,133 + 0,359X$ $R^2 = 0,94^*$

* significativo a 5% de probabilidade.

Verifica-se pelos elevados coeficientes de regressão e pela semelhança nos valores obtidos, que os três extratores foram eficientes e similares na avaliação do fósforo disponível nos fosfatos naturais da Carolina do Norte (FCN) e de Arad, no

termofosfato Yoorin e no superfosfato triplo (SPT) para as duas leguminosas, quando se comparou com os teores e as produções de matéria seca.

Resultados semelhantes na utilização destes extratores na determinação do P-disponível têm sido relatados por diversos autores (Galvão & Volkweiss, 1881; Michaelson & Ping, 1986; Evans & McGuire, 1990; Piha, 1993; Stefanutti et al., 1994; Alves et al., 1995; Brasil & Muraoka, 1995; Accioly et al., 1995; Holanda et al., 1995; Silveira et al., 1996).

Essa similaridade é confirmada pela elevada correlação obtida entre os três extratores nas quatro fontes de P, tanto no solo cultivado com alfafa quanto no cultivado com centrosema (Figuras 3 - 8). Resultado que corrobora as correlações feitas por Brasil (1994), Stefanutti et al. (1994), Freitas et al. (1995) e Silveira et al. (1996) com os métodos da resina e Mehlich 1, por Wolf & Baker (1985), Gascho et al. (1990) e Brasil (1994) com os métodos Mehlich 1 e Mehlich 3 e por Brasil (1994) e Silveira et al. (1996) com os métodos da resina e Mehlich 3, e reforça a posição dos laboratórios de análise de solo no Brasil, que utilizam os extratores Mehlich 1 (Carolina do Norte ou duplo ácido) e resina como métodos de avaliação do P-disponível, enquadrando se satisfatoriamente sob condições de fertilidade natural do solo.

No caso dos fosfatos naturais reativos, como os estudados e também no caso do Yoorin, o extrator Mehlich 1 não condiz a valores exageradamente altos como acontece na extração de P em solos tratados com os fosfatos naturais brasileiros (Raij et al., 1986; Raij, 1989; Holanda et al., 1995).

Tabela 26 - Coeficientes de correlação entres as concentrações de P determinada pelos extratores (Mehlich 1, Mehlich 3 e resina) e a produção de matéria seca (caule, folha e raiz) e o teor de P (caule, folha e raiz) na alfafa.

Fosfato natural da Carolina do Norte			
Teor	Extratores		
	Mehlich 3	Mehlich 1	Resina
Caule	0,77*	0,80*	0,79*
Folha	0,82*	0,72*	0,78*
Raiz ¹	0,99*	0,86*	0,95*
Total (caule + folha)	0,90*	0,86*	0,89*
Matéria seca			
Caule	0,79*	0,73*	0,82*
Folha	0,85*	0,83*	0,89*
Raiz ¹	0,91*	0,99*	0,98*
Total (caule + folha)	0,79*	0,79*	0,87*
Termofosfato Yoorin			
Teor	Extratores		
	Mehlich 3	Mehlich 1	Resina
Caule	0,91*	0,89*	0,92*
Folha	0,81*	0,81*	0,82*
Raiz ¹	0,99*	0,99*	0,99*
Total (caule + folha)	0,93*	0,92*	0,93*
Matéria seca			
Caule	0,78*	0,80*	0,81*
Folha	0,80*	0,82*	0,82*
Raiz ¹	0,98*	0,98*	0,97*
Total (caule + folha)	0,91*	0,82*	0,82*
Fosfato natural de Arad			
Teor	Extratores		
	Mehlich 3	Mehlich 1	Resina
Caule	0,84*	0,87*	0,84*
Folha	0,84*	0,81*	0,79*
Raiz ¹	0,97*	0,99*	0,95*
Total (caule + folha)	0,95*	0,95*	0,92*
Matéria seca			
Caule	0,79*	0,74*	0,76*
Folha	0,87*	0,84*	0,85*
Raiz ¹	0,99*	0,98*	0,99*
Total (caule + folha)	0,84*	0,79*	0,82*
Superfosfato triplo			
Teor	Extratores		
	Mehlich 3	Mehlich 1	Resina
Caule	0,78*	0,79*	0,80*
Folha	0,83*	0,87*	0,81*
Raiz ¹	0,92*	0,92*	0,95*
Total (caule + folha)	0,86*	0,88*	0,86*
Matéria seca			
Caule	0,71*	0,77*	0,73*
Folha	0,77*	0,84*	0,79*
Raiz ¹	0,98*	0,99*	0,99*
Total (caule + folha)	0,75*	0,81*	0,77*

* significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 27 - Coeficientes de correlação entres as concentrações de P determinada pelos extratores (Mehlich 1, Mehlich 3 e resina) e a produção de matéria seca (caule, folha e raiz) e o Teor de P (caule, folha e raiz) na centrosema.

Fosfato natural da Carolina do Norte			
Teor	Extratores		
	Mehlich 3	Mehlich 1	Resina
Caule	0,81*	0,74*	0,75*
Folha	0,88*	0,86*	0,86*
Raiz ¹	0,74*	0,69*	0,65*
Total (caule + folha)	0,85*	0,58*	0,81*
Matéria seca			
Caule	0,60*	0,54*	0,56*
Folha	0,76*	0,69*	0,75*
Raiz ¹	0,55*	0,68*	0,75*
Total (caule + folha)	0,72*	0,62*	0,70*
Termofosfato Yoorin			
Teor			
Caule	0,84*	0,83*	0,81*
Folha	0,70*	0,72*	0,68*
Raiz ¹	0,70*	0,73*	0,71*
Total (caule + folha)	0,78*	0,79*	0,75*
Matéria seca			
Caule	0,62*	0,57*	0,56*
Folha	0,72*	0,73*	0,72*
Raiz ¹	0,76*	0,80*	0,82*
Total (caule + folha)	0,71*	0,69*	0,68*
Fosfato natural de Arad			
Teor			
Caule	0,75*	0,72*	0,65*
Folha	0,61*	0,60*	0,58*
Raiz ¹	0,79*	0,68*	0,66*
Total (caule + folha)	0,70*	0,72*	0,65*
Matéria seca			
Caule	0,55*	0,54*	0,66*
Folha	0,61*	0,57*	0,67*
Raiz ¹	0,70*	0,71*	0,72*
Total (caule + folha)	0,62*	0,60*	0,71*
Superfosfato triplo			
Teor			
Caule	0,77*	0,75*	0,75*
Folha	0,70*	0,65*	0,61*
Raiz ¹	0,84*	0,99*	0,72*
Total (caule + folha)	0,68*	0,67*	0,64*
Matéria seca			
Caule	0,52*	0,53*	0,60*
Folha	0,70*	0,69*	0,68*
Raiz ¹	0,99*	0,99*	0,86*
Total (caule + folha)	0,65*	0,62*	0,64*

* significativo a 5% de probabilidade.

Figura 3 - Correlação entre os métodos da resina (X) e Mehlich 1 (Y) nas sete amostras coletadas durante a condução do experimento com alfafa: (a) fosfato natural da Carolina do Norte; (b) termofosfato Yoorin; (c) fosfato natural de Arad e (d) superfosfato triplo.

Figura 4 - Correlação entre os métodos Mehlich 1 (X) e Mehlich 3 (Y) nas sete amostras coletadas durante a condução do experimento com alfafa: (a) fosfato natural da Carolina do Norte; (b) termofosfato Yoorin; (c) fosfato natural de Arad e (d) superfosfato triplo.

Figura 5 - Correlação entre os métodos da resina (X) e Mehlich 3 (Y) nas sete amostras coletadas durante a condução do experimento com alfafa: (a) fosfato natural da Carolina do Norte; (b) termofosfato Yoorin; (c) fosfato natural de Arad e (d) superfosfato triplo.

Figura 6 - Correlação entre os métodos da resina (X) e Mehlich 1 (Y) nas sete amostras coletadas durante a condução do experimento com centrosema: (a) fosfato natural da Carolina do Norte; (b) termofosfato Yoorin; (c) fosfato natural de Arad e (d) superfosfato triplo.

Figura 7 - Correlação entre os métodos Mehlich 1 (X) e Mehlich 3 (Y) nas sete amostras coletadas durante a condução do experimento com centrosema: (a) fosfato natural da Carolina do Norte; (b) termofosfato Yoorin; (c) fosfato natural de Arad e (d) superfosfato triplo.

Figura 8 - Correlação entre os métodos da resina (X) e Mehlich 3 (Y) nas sete amostras coletadas durante a condução do experimento com centrosema: (a) fosfato natural da Carolina do Norte; (b) termofosfato Yoorin; (c) fosfato natural de Arad e (d) superfosfato triplo.

5.5. Fósforo recuperado pelos extratores

A fim de se estudar a taxa de recuperação do P aplicado, determinou-se a porcentagem de P recuperado em função dos três extratores e das seis épocas de amostragem através da fórmula apresentada por Anghinoni & Bohen (1974):

$$\% \text{ de P recuperado} = \frac{\text{P na análise} - \text{P nativo}}{\text{P adicionado}} \times 100$$

Os resultados estão nas Tabelas 28 e 29. Os cálculos foram feitos com a média dos valores de fósforo extraído nas amostras de solo de cada fonte, dose, leguminosa e época de corte.

Confirmam-se os resultados obtidos por Anghinoni & Bohen (1974) e Corrêa & Haag (1993), no sentido de que nos dois últimos cortes, nas doses mais baixas de P aplicadas houve uma porcentagem de recuperação muito baixa.

Em todas amostragens do solo, observa-se que os fosfatos naturais da Carolina do Norte e de Arad apresentaram a maior taxa de recuperação em relação ao termofosfato Yoorin e ao superfosfato triplo nas duas leguminosas, exceção feita ao Mehlich 3 (Tabelas 28 e 29). Este resultado novamente evidencia os efeitos residuais de P dos fosfatos naturais já assinalados.

Na última amostragem no caso do solo cultivado com alfafa o FCN e Arad apresentaram as maiores taxas de recuperação na resina e no Mehlich 1 e as menores no Mehlich 3. Neste último o Arad e o Yoorin, entretanto, mostraram a menor taxa de recuperação. Na centrosema o FCN e Arad apresentaram as maiores taxas de recuperação no Mehlich 1; no Mehlich 3 o SPT apresentou as maiores taxas de recuperação; na resina o Arad apresentou as maiores taxas de recuperação.

Tabela 28 - Porcentagem média de P recuperado pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina em função das doses de fósforo e épocas de corte na alfafa.

Mehlich 1						
	1º corte	2º corte	3º corte	4º corte	5º corte	6º corte
FCN 50	42,0	42,0	34,0	26,0	20,0	14,0
FCN 100	58,0	48,0	44,0	36,0	34,0	30,0
FCN 200	48,0	57,0	46,5	45,0	40,5	42,0
Yoorin 50	26,0	30,0	14,0	16,0	8,0	8,0
Yoorin 100	26,0	22,0	15,0	21,0	12,0	11,0
Yoorin 200	26,0	32,0	22,0	26,0	20,0	28,5
Arad 50	46,0	32,0	30,0	28,0	28,0	16,0
Arad 100	50,0	44,0	44,0	34,0	30,0	36,0
Arad 200	42,0	54,0	46,5	45,0	42,0	21,5
SPT 50	12,0	12,0	16,0	16,0	10,0	12,0
SPT 100	16,0	25,0	22,0	16,0	15,0	14,0
SPT 200	12,5	35,0	34,5	31,5	20,0	31,5
Mehlich 3						
FCN 50	8,0	12,0	12,0	10,0	6,0	12,0
FCN 100	9,0	13,0	13,0	12,0	11,0	11,0
FCN 200	7,5	13,5	11,5	14,5	13,5	14,0
Yoorin 50	26,0	14,0	14,0	12,0	8,0	6,0
Yoorin 100	28,0	22,0	18,0	19,0	13,0	11,0
Yoorin 200	23,5	27,5	22,0	22,5	18,5	15,5
Arad 50	8,0	10,0	12,0	8,0	6,0	8,0
Arad 100	10,0	12,0	14,0	11,0	10,0	14,0
Arad 200	9,0	14,0	14,5	12,5	12,5	13,0
SPT 50	22,0	18,0	16,0	8,0	10,0	12,0
SPT 100	15,0	33,0	30,0	16,0	22,0	17,0
SPT 200	34,5	44,0	39,5	38,5	30,5	42,0
resina						
FCN 50	34,0	30,0	34,0	44,0	30,0	18,0
FCN 100	28,0	27,0	53,0	28,0	30,0	30,0
FCN 200	22,5	35,0	44,5	32,0	37,5	38,5
Yoorin 50	34,0	26,0	24,0	16,0	14,0	10,0
Yoorin 100	28,0	34,0	29,0	27,0	22,0	17,0
Yoorin 200	27,5	43,5	30,5	34,0	27,5	23,0
Arad 50	44,0	36,0	36,0	34,0	28,0	42,0
Arad 100	44,0	62,0	38,0	66,0	42,0	41,0
Arad 200	52,0	64,5	54,0	52,0	56,5	41,0
SPT 50	28,0	52,0	24,0	14,0	10,0	28,0
SPT 100	33,0	75,0	36,0	26,0	25,0	24,0
SPT 200	25,0	49,0	40,5	41,0	35,5	37,5

Tabela 29 - Porcentagem média de P recuperado pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina em função das doses de fósforo e épocas de corte na centrosema.

Mehlich 1						
	1º corte	2º corte	3º corte	4º corte	5º corte	6º corte
FCN 50	44,0	44,0	30,0	26,0	24,0	12,0
FCN 100	36,0	69,0	44,0	39,0	42,0	33,0
FCN 200	46,5	51,0	55,0	56,0	48,0	36,0
Yoorin 50	22,0	20,0	38,0	8,0	10,0	2,0
Yoorin 100	25,0	22,0	22,0	15,0	15,0	11,0
Yoorin 200	26,0	27,0	23,5	22,0	22,0	24,0
Arad 50	40,0	48,0	50,0	24,0	22,0	16,0
Arad 100	84,0	54,0	40,0	48,0	40,0	31,0
Arad 200	52,5	71,0	53,0	49,5	51,0	39,0
SPT 50	10,0	30,0	22,0	8,0	34,0	10,0
SPT 100	14,0	14,0	24,0	19,0	31,0	14,0
SPT 200	18,0	26,0	23,0	33,0	22,0	27,0
Mehlich 3						
FCN 50	10,0	14,0	18,0	12,0	12,0	8,0
FCN 100	14,0	16,0	16,0	22,0	16,0	19,0
FCN 200	18,0	14,5	21,0	18,5	21,0	23,5
Yoorin 50	24,0	20,0	14,0	10,0	6,0	4,0
Yoorin 100	23,0	18,0	17,0	14,0	13,0	11,0
Yoorin 200	26,0	24,0	22,0	18,5	18,5	29,0
Arad 50	16,0	12,0	14,0	16,0	12,0	12,0
Arad 100	21,0	17,0	15,0	28,0	28,0	15,0
Arad 200	19,5	17,0	19,0	18,5	37,0	18,0
SPT 50	12,0	26,0	16,0	8,0	8,0	10,0
SPT 100	27,0	37,0	29,0	29,0	17,0	22,0
SPT 200	25,0	36,0	39,5	36,0	32,0	36,0
resina						
FCN 50	28,0	28,0	24,0	20,0	14,0	-2,0
FCN 100	17,0	36,0	29,0	29,0	20,0	18,0
FCN 200	23,5	34,0	33,5	27,0	25,5	20,5
Yoorin 50	30,0	28,0	16,0	20,0	18,0	2,0
Yoorin 100	33,0	40,0	18,0	14,0	15,0	15,0
Yoorin 200	39,0	33,5	25,5	22,5	25,0	20,5
Arad 50	44,0	26,0	40,0	54,0	14,0	12,0
Arad 100	55,0	64,0	62,0	34,0	24,0	23,0
Arad 200	36,5	39,5	33,0	29,5	26,0	36,5
SPT 50	16,0	6,0	16,0	4,0	0,0	-2,0
SPT 100	29,0	37,0	23,0	18,0	20,0	18,0
SPT 200	25,0	31,5	29,5	30,0	28,0	27,0

5.6. Nitrogênio

A concentração e quantidade de N na parte aérea em função das doses e fontes de P na alfafa e centrosema e suas correlações com a produção de MS e teores de P são apresentadas nas Tabelas 30, 31 e 32.

Tabela 30 - Concentração (g kg^{-1}) e quantidade (mg vaso^{-1}) de N na parte aérea das plantas em resposta às doses de fósforo (mg kg^{-1}).

Alfafa		
Fonte	Teor	Quantidade
FCN	$Y = 27,601 - 0,025X + 0,0001X^2$ $R^2 = 0,54^{ns}$	$Y = 81,686 + 0,570X$ $R^2 = 0,80^*$
Yoorin	$Y = 27,177 - 0,018X + 0,0001X^2$ $R^2 = 0,37^{ns}$	$Y = 92,271 + 0,854X$ $R^2 = 0,73^*$
Arad	$Y = 26,890 - 0,031X + 0,0002X^2$ $R^2 = 0,34^{ns}$	$Y = 73,078 + 0,576X$ $R^2 = 0,84^*$
SPT	$Y = 27,839 - 0,021X + 0,0001X^2$ $R^2 = 0,38^{ns}$	$Y = 79,099 + 0,761X$ $R^2 = 0,89^*$
Centrosema		
FCN	$Y = 25,710 + 0,028X$ $R^2 = 0,83^*$	$Y = 154,26 + 1,049X$ $R^2 = 0,87^*$
Yoorin	$Y = 25,357 + 0,032X$ $R^2 = 0,89^*$	$Y = 173,182 + 1,207X$ $R^2 = 0,80^*$
Arad	$Y = 25,205 + 0,015X$ $R^2 = 0,72^*$	$Y = 171,967 + 0,722X$ $R^2 = 0,69^*$
SPT	$Y = 25,071 + 0,014X$ $R^2 = 0,91^*$	$Y = 150,673 + 0,988X$ $R^2 = 0,86^*$

* significativo a 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

Em todas as fontes, a concentração de N presente na matéria seca e a correlação com o teor de P diferiram significativamente ($P < 0,05$) somente na centrosema. Este baixo efeito das doses de P sobre a concentração de N na alfafa contraria uma certa expectativa inicial, visto que, segundo Andrew (1978), Robson (1978), Malavolta (1980), Mengel & Kirkby (1987), Tisdale et al. (1993) e Marschner (1995), existe o efeito sinérgico na planta entre o fósforo e o nitrogênio.

Para Malavolta (1980), diversos fatores podem afetar a absorção de N na alfafa, sendo o pH um dos mais importantes. De acordo com Rhykerd & Overdahl

(1982), Lanyon & Smith (1988) e Plank (1988), o pH recomendado para a produção e nodulação da alfafa está na faixa de 6,5 a 7,5, e no presente estudo ficou entre 4,9 a 6,4. A centrosema, mais tolerante à acidez (Munns, 1978 e Clements et al., 1983), teria se beneficiado da fixação simbiótica.

A concentração de N não influenciou a produção de MS nas duas leguminosas. Tal resultado está de acordo com os obtidos por Werner & Monteiro (1974), Carvalho et al. (1988) e Costa et al. (1988) na centrosema e por Smith & Powell (1979) na alfafa, porém discordante do encontrado por Cadisch et al. (1992) na centrosema e por Mahler (1983) na alfafa, que em condições de casa de vegetação, obtiveram aumento significativo na produção de matéria seca.

Tabela 31 - Correlação entre a concentração (teor) de N (g kg^{-1}) na parte aérea, a produção de matéria seca (g vaso^{-1}) e a concentração (teor) de P (g kg^{-1}) presente na MS da parte aérea.

Alfafa		
	MS	Teor
FCN	$Y = 5,058 - 0,119X + 0,0035X^2$ $r = 0,25^{ns}$	$Y = 2,678 - 0,031X + 0,0006X^2$ $r = -0,73^{ns}$
Yoorin	$Y = 9,816 - 0,403X + 0,0084X^2$ $r = 0,30^{ns}$	$Y = 2,942 - 0,029X + 0,0004X^2$ $r = -0,13^{ns}$
Arad	$Y = 2,531 + 0,153X - 0,0025X^2$ $r = 0,12^{ns}$	$Y = 2,577 - 0,015X + 0,0002X^2$ $r = -0,15^{ns}$
SPT	$Y = 6,041 - 0,153X + 0,004X^2$ $r = 0,28^{ns}$	$Y = 2,670 - 0,003X - 0,0001X^2$ $r = -0,20^{ns}$
Centrosema		
FCN	$Y = -111,78 + 7,769X - 0,123X^2$ $r = 0,38^{ns}$	$Y = -2,357 + 0,260X$ $r = 0,99^*$
Yoorin	$Y = -0,129 + 0,549X - 0,007X^2$ $r = 0,31^{ns}$	$Y = 1,930 + 0,0058X$ $r = 0,96^*$
Arad	$Y = 11,845 - 0,331X + 0,007X^2$ $r = 0,27^{ns}$	$Y = 1,657 + 0,0081X$ $r = 0,91^*$
SPT	$Y = 14,056 - 0,441X + 0,008X^2$ $r = 0,24^{ns}$	$Y = 2,178 - 0,0059X$ $r = 0,98^*$

* significativo a 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 32 - Teor (mg kg⁻¹) e quantidade (mg vaso⁻¹) de N acumulado no caule e folha em resposta às doses, fontes de P e épocas de corte.

Tratamentos	Ataia											
	1º corte				3º corte				5º corte			
	Teor		Quantidade		Teor		Quantidade		Teor		Quantidade	
	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha
Testemunha	10,00a	19,00abc	2,90c	22,30c	14,60a	44,50ab	4,10c	51,90c	19,60ab	40,00abc	5,50c	47,10c
FCN 50	7,10a	11,70c	13,20bc	45,90abc	12,30a	50,60a	22,60bc	173,20a	16,90b	50,20	31,20b	214,40a
FCN 100	7,90a	10,50c	15,40bc	32,40bc	13,90a	38,80abcd	26,50ab	113,10abc	18,80ab	49,00a	36,50b	147,80ab
FCN 200	7,60a	14,00bc	12,60bc	50,60abc	15,50a	41,10abc	25,70ab	148,20ab	19,00ab	46,00ab	31,50b	162,00ab
YOORIN 50	11,10a	16,70abc	13,70bc	46,60abc	15,50a	44,10ab	19,10bc	122,70abc	19,80ab	31,00c	24,30bc	86,10bc
YOORIN 100	9,20a	19,20abc	13,00bc	56,30abc	15,10a	40,90abc	21,60bc	119,80abc	17,60b	33,60bc	33,50b	96,70bc
YOORIN 200	11,30a	16,20abc	21,90ab	61,40abc	14,30a	39,80abcd	27,80ab	131,60abc	24,00a	40,80abc	34,20b	134,30ab
ARAD 50	9,80a	19,30abc	13,70bc	48,10abc	10,40a	27,10d	19,70bc	62,30c	17,70b	40,20abc	25,50bc	90,50bc
ARAD 100	9,50a	19,60abc	16,40ab	57,70abc	13,90a	38,10abcd	46,00a	116,30abc	20,00ab	48,60a	34,50b	146,70ab
ARAD 200	10,90a	22,10ab	46,00a	54,00abc	14,90a	40,41ab	24,00bc	107,50abc	19,60ab	51,20a	58,60a	124,80bc
SPT 50	6,80a	25,90a	10,90bc	47,50abc	14,20a	33,90bcd	22,70bc	62,20c	16,10b	48,30a	25,00bc	96,20bc
SPT 100	8,80a	20,10ab	12,10bc	67,10ab	16,60a	30,30cd	22,30bc	101,60abc	18,20ab	37,60abc	24,70bc	130,30abc
SPT 200	12,10a	25,10a	15,50bc	75,40a	14,00a	30,30cd	17,70bc	107,50abc	21,70ab	41,90abc	27,60b	124,20bc
D.M.S	5,40	10,10	14,10	39,80	9,90	12,90	20,40	84,20	5,80	13,90	20,60	86,10
C.V. (%)	18,41	17,49	25,52	24,20	21,54	10,24	25,82	23,54	10,21	9,91	20,94	21,51
Tratamentos	Centrosema											
	1º corte				3º corte				5º corte			
	Teor		Quantidade		Teor		Quantidade		Teor		Quantidade	
	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha
Testemunha	11,90c	26,00ab	3,40c	30,50c	14,60ab	44,50ab	4,10d	51,90c	13,60d	13,50b	4,90e	16,20c
FCN 50	11,30c	31,70ab	20,90bc	99,40a	12,30b	50,60a	22,60bc	313,20a	20,10abcd	16,20ab	33,70bcd	68,20ab
FCN 100	11,90c	27,80ab	22,90bc	68,20abc	1890a	38,80abcd	37,00ab	123,10bc	26,20ab	21,70a	50,60ab	65,70ab
FCN 200	13,90bc	29,50ab	23,10bc	106,40a	15,50ab	41,10abcd	25,70bc	148,20ab	25,90ab	21,70a	42,90abcd	78,50a
YOORIN 50	19,00ab	31,70ab	23,40b	84,90abc	15,50ab	45,10a	19,10cd	125,60bc	21,50abcd	18,00ab	26,50cde	49,90abc
YOORIN 100	21,00a	27,80ab	29,40b	85,20abc	15,10ab	41,00abcd	18,30cd	123,10bc	18,50bcd	16,50ab	25,70cde	47,30abc
YOORIN 200	19,40ab	31,80a	36,30b	99,10a	14,30ab	39,80abcd	24,50bc	131,60abc	25,20abc	21,00ab	41,80abcd	68,00ab
ARAD 50	17,20abc	26,50ab	24,10b	65,60abc	13,70ab	27,10d	19,70cd	62,30c	17,30cd	18,10ab	24,70de	45,40abc
ARAD 100	16,80abc	25,00ab	57,50a	74,50abc	15,20ab	38,10abcd	43,60a	116,30bc	23,50abc	19,60ab	60,00a	62,40ab
ARAD 200	15,80abc	22,00ab	27,30b	53,80abc	13,70ab	44,10abc	23,60bc	107,50bc	27,10a	18,00ab	46,90abc	43,90bc
SPT 50	16,30abc	22,30ab	26,40b	37,70bc	13,70ab	38,90abcd	22,70bc	67,00bc	20,60abcd	17,10ab	32,50bcd	35,00bc
SPT 100	16,90abc	27,10ab	23,10bc	90,60ab	12,50b	30,30cd	15,80cd	101,60bc	22,40abc	19,40ab	30,70bcd	68,80ab
SPT 200	14,40bc	28,00ab	18,30bc	83,40abc	14,00ab	30,70bcd	17,70cd	91,40bc	23,10abc	18,50ab	29,40bcd	54,90ab
D.M.S	6,00	10,80	19,90	55,70	6,30	14,10	16,70	85,70	8,40	7,60	21,70	34,00
C.V. (%)	12,71	12,85	23,95	22,90	13,60	11,09	22,82	23,64	11,84	12,89	20,08	19,12

¹ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Segundo Malavolta (1980), o maior acúmulo de N nas folhas ocorre porque este órgão é de residência para o elemento, enquanto o caule seria para o transporte (Tabela 32). Com relação a época de corte (Apêndice 7), o menor teor de N no primeiro corte ocorreu provavelmente porque, no início da simbiose entre a bactéria e a planta ocorre uma menor eficiência na absorção em função da bactéria priorizar o seu metabolismo na formação de nódulos em detrimento da simbiose com a planta (Viands et al., 1981).

Os teores de N apresentados na alfafa neste estudo, obtidos através da equação de regressão, estão na faixa de $27,2 \pm 1,5 \text{ g kg}^{-1}$, valores estes, abaixo dos obtidos por Andrew & Robins (1969b), Gallo et al. (1974), Smith (1986), Plank (1988) e Moreira et al. (1994), porém, assemelham-se aos teores encontrados por Viands et al. (1981) e Mahler (1983). Os teores de N na centrosema observados neste ensaio ficaram entre $28,4 \pm 3,3 \text{ g kg}^{-1}$, valores que encontram-se na faixa considerada adequada por Werner & Mattos (1972), mas estão abaixo dos obtidos por Andrew & Robins (1969b).

5.7. Cálcio e Magnésio

5.7.1 Cálcio

O teor e a quantidade de Ca presente na matéria seca da parte aérea da alfafa e da centrosema, em função das fontes e doses de P aplicadas no solo, estão contidos nas Figuras 11 e 12 e na Tabela 33.

Observa-se que houve efeito positivo das doses de P no aumento na concentração de Ca em todas as fontes, efeito este, mais pronunciado nas folhas (Tabela 34). Exceto o termofosfato Yoorin, a quantidade de Ca extraído pelos três extratores (resina, KCl e Mehlich 3), não refletiu no aumento da produção de matéria seca das duas leguminosas (Apêndices 8 e 9). O teor foliar de Ca encontrado na MS neste trabalho foi de $13,1 \pm 3,5 \text{ g kg}^{-1}$ na alfafa e $12,9 \pm 3,0 \text{ g kg}^{-1}$ na centrosema, valores estes que estão de acordo com os obtidos por Gallo et al. (1974), Smith (1986), Fageria & Baligar (1989), Kornelius & Ritchey (1992), Moreira et al. (1994) e Moreira et al. (1997) para alfafa e por Andrew & Robins (1969b), Gallo et al. (1974), Werner & Monteiro (1974) e Costa & Curado (1980) para a centrosema.

Figura 11 - Efeito das doses e fontes de P sobre a concentração Ca na matéria seca da parte aérea na cultura da alfafa (média de todas amostragens de solo).

Figura 12 - Efeito das doses e fontes de P sobre a concentração de Ca na matéria seca da parte aérea na cultura da centrosema (média de todas amostragens de solo).

Tabela 33 - Teor (g kg⁻¹) e quantidade (mg vaso⁻¹) de Ca acumulado no caule e folha em resposta às doses, fontes de P e épocas de corte.

Tratamentos	Alfafa												Centrosema											
	1º corte				3º corte				6º corte				1º corte				3º corte				6º corte			
	Teor		Quantidade		Teor		Quantidade		Teor		Quantidade		Teor		Quantidade		Teor		Quantidade		Teor		Quantidade	
	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha	caule	folha
Testemunha	8,17a	19,83ab	6,86c	17,96c	9,02a	13,60ab	9,56d	20,93d	10,03ab	14,78a	3,53e	7,49e												
FCN 50	7,93a	19,93ab	14,93abc	43,98bc	7,90a	14,58ab	20,59cd	37,52cd	9,15ab	15,50a	27,08a	33,51bcd												
FCN 100	8,43a	26,05ab	16,93abc	68,96ab	8,43a	14,23ab	26,53abc	42,43abc	9,05ab	15,88a	17,99abcd	42,35abc												
FCN 200	8,65a	24,40ab	16,51abc	71,70ab	8,48a	12,75b	28,51abc	44,62bcd	7,53b	16,03a	19,88abcd	55,67a												
YOORIN 50	8,30a	21,50ab	22,05ab	62,46ab	8,17a	13,90ab	23,49abc	54,30abc	7,68b	13,65a	10,03cde	21,40de												
YOORIN 100	8,63a	22,15ab	22,31ab	72,59ab	8,30a	17,48a	35,25ab	65,43ab	8,55ab	12,95a	12,80bcde	23,61de												
YOORIN 200	8,50a	24,33ab	24,64a	86,36a	8,13a	16,13ab	37,09a	73,09a	9,73ab	14,70a	24,44ab	40,69abc												
ARAD 50	8,13a	18,53b	14,84abc	43,56bc	7,83a	15,20ab	21,25cd	38,69bcd	9,23ab	14,73a	18,34abcd	27,08cd												
ARAD 100	8,33a	22,15ab	17,05abc	64,51ab	8,40a	15,03ab	25,43abc	49,61bcd	9,80ab	12,30a	21,54abc	29,68bcd												
ARAD 200	8,18a	20,55ab	14,79abc	49,07bc	7,92a	13,73ab	22,48bcd	43,60bcd	10,63a	15,95a	19,42abcd	30,56bcd												
SPT 50	8,33a	21,83ab	20,10ab	64,84ab	8,73a	15,90ab	23,42bc	53,41abc	8,73ab	12,53a	9,39de	22,08de												
SPT 100	8,28a	27,35a	13,90bc	57,47ab	8,83a	16,53ab	26,63abc	54,27abc	8,70ab	13,25a	16,72abcd	28,48cd												
SPT 200	7,85a	24,58ab	20,10ab	74,22ab	8,30a	17,05a	31,83abc	62,88abc	8,60ab	14,48a	16,79abcd	46,04ab												
D.M.S.	1,79	7,62	10,67	34,86	1,45	4,26	13,62	27,12	2,59	4,03	11,94	16,99												
C.V. (%)	7,28	11,33	20,52	19,69	5,87	9,52	17,95	18,46	9,66	9,44	23,97	18,19												
Testemunha	8,97a	15,97b	22,09d	45,70c	7,65a	13,30ab	21,23b	50,53b	11,93a	13,87e	3,78c	16,21c												
FCN 50	8,73a	16,63b	37,89cd	74,75bc	8,13a	15,45ab	37,98ab	102,03a	12,40a	18,93abc	22,94ab	81,82a												
FCN 100	9,17a	16,95b	41,83bcd	94,43bc	7,75a	14,15ab	28,82ab	88,70ab	12,00a	20,63ab	23,19ab	62,69ab												
FCN 200	9,10a	18,20ab	52,82bc	119,27b	8,10a	15,18ab	29,49ab	98,83a	10,93a	17,43bcde	18,11abc	62,84ab												
YOORIN 50	8,85a	17,15b	50,79bc	108,09b	7,43a	11,53b	37,14ab	95,34a	10,90a	19,05abc	11,52bc	52,90abc												
YOORIN 100	8,50a	18,10ab	55,96abc	127,67b	7,30a	11,70b	39,68ab	88,65ab	9,55a	16,43cde	13,47bc	49,91abc												
YOORIN 200	8,85a	21,65a	73,93a	196,66a	7,50a	12,23b	33,22ab	97,73a	7,93a	18,60abc	20,43ab	61,56ab												
ARAD 50	8,33a	17,70ab	43,53bc	98,94bc	6,80a	11,25b	33,65ab	85,65ab	11,10a	18,03abcd	24,43ab	41,49bc												
ARAD 100	9,33a	19,08ab	49,82bc	108,10b	7,98a	13,30ab	40,46a	80,84ab	12,03a	21,75a	32,57a	58,76ab												
ARAD 200	9,30a	18,20ab	59,95ab	116,06b	7,58a	16,75a	41,21a	91,51ab	10,95a	19,80abc	18,94abc	48,19bc												
SPT 50	9,05a	18,90ab	55,33abc	108,09b	6,28a	13,55ab	25,67ab	79,77ab	9,70a	14,48de	15,67bc	26,44bc												
SPT 100	8,05a	16,73b	48,85bc	127,67b	6,63a	13,10ab	33,50ab	99,40a	8,93a	14,43de	12,18bc	47,90abc												
SPT 200	8,70a	17,10b	59,54ab	131,42b	8,28a	13,38ab	39,14ab	88,79ab	7,93a	17,90bcd	10,18bc	53,22ab												
D.M.S.	1,80	3,98	20,44	56,70	2,11	4,52	18,83	42,87	4,55	3,73	16,28	36,91												
C.V. (%)	6,86	7,50	13,71	17,27	9,49	11,31	18,68	16,34	12,23	7,06	31,38	24,33												

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Os maiores teores de Ca trocável nos três extratores (KCl, Mehlich 3 e resina) foram encontrados no termofosfato Yoorin ($2,5 \pm 0,5 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ na alfafa e $2,1 \pm 0,7 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ na centrosema) e os menores no superfosfato triplo ($2,0 \pm 0,1 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ na alfafa e $1,7 \pm 0,2 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ na centrosema), os fosfatos naturais da Carolina do Norte e de Arad tiveram valores semelhantes ($2,3 \pm 0,2 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ para a alfafa e $1,9 \pm 0,4 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ na centrosema). Castro (1991), trabalhando com quatro fontes de P, em que se incluía o superfosfato triplo, verificou que o termofosfato contribuiu para o aumento dos teores de Ca, enquanto que o superfosfato triplo não alterou os teores deste elemento.

Observa-se que houve efeito significativo em função das épocas de corte nas duas leguminosas (Apêndice 10), isso provavelmente ocorreu, devido ao efeito da calagem e das fontes de P que aumentaram os teores iniciais de Ca e também a menor produção obtida no último corte afetando significativamente a quantidade de Ca contido na MS.

5.7.2. Magnésio

O teor e a quantidade de Mg presente na matéria seca da parte aérea da alfafa e da centrosema, em função das fontes e doses de P aplicadas no solo, estão contidos nas Figuras 13 e 14 e na Tabela 34.

Observa-se que os teores de Mg na planta sofreram pouco efeito das doses e fontes de P, exceto o termofosfato Yoorin, que apresentou efeito linear mais notadamente na centrosema. Este resultado está de acordo com os obtidos por Yasuda (1989) e Castro (1991), que observaram aumento no teor foliar de Mg com o aumento das doses de P, quando se utilizou o termofosfato. Entretanto, quando se compara a quantidade de Mg extraído pelos três extratores, isso não reflete no aumento na quantidade de matéria seca do caule e folha nas duas leguminosas estudadas, porém, houve efeito significativo no teor e na quantidade de matéria seca da raiz nas duas leguminosas (Apêndices 11 e 12).

Figura 13 - Efeito das doses e fontes de P sobre a concentração Mg na matéria seca da parte aérea na cultura da alfafa (média de todas amostragens de solo).

Figura 14 - Efeito das doses e fontes de P sobre a concentração de Mg na matéria seca da parte aérea na cultura da centrosema (média de todas amostragens de solo).

Tabela 34 - Teor (g kg⁻¹) e quantidade (mg vaso⁻¹) de Mg acumulado no caule e folha em resposta às doses, fontes de P e épocas de corte.

Tratamentos	Alfafa						3º corte						6º corte					
	1º corte			Quantidade			Teor			Quantidade			Teor			Quantidade		
	caule	folha		caule	folha		caule	folha		caule	folha		caule	folha		caule	folha	
Testemunha	2,17a	5,18ab		1,81d	5,14c		1,53a	3,58a		1,23b	7,02d		2,38ab	2,48c		0,54c	1,27f	
FCN 50	2,03a	5,23ab		3,83bcd	11,44ab		1,60a	3,40a		4,17ab	9,88bcd		2,10b	3,13abc		5,26ab	6,77cde	
FCN 100	2,03a	5,45ab		4,10bcd	14,37ab		2,00a	3,90a		6,40a	12,19bc		1,83b	3,08abc		3,62b	8,21bcde	
FCN 200	2,28a	4,83ab		4,40abcd	14,17ab		1,45a	3,23a		4,89a	10,64bcd		1,80b	3,43aab		4,83ab	11,96ab	
YOORIN 50	2,08a	4,73ab		5,52abc	13,76ab		1,75a	4,28a		5,65a	12,16bc		2,25ab	3,45ab		2,89bc	5,41ef	
YOORIN 100	2,03a	4,43b		5,33abc	14,52ab		1,43a	3,80a		6,05a	14,23ab		2,45ab	3,40ab		3,45bc	6,12cde	
YOORIN 200	2,20a	4,38b		7,02a	15,51ab		1,40a	3,95a		6,40a	17,77a		3,28a	3,30ab		6,75a	9,12abcd	
ARAD 50	1,90a	4,53b		3,47cd	13,76ab		1,35a	3,28a		3,67ab	8,42cd		2,38ab	2,73bc		4,69ab	4,88ef	
ARAD 100	2,03a	4,80ab		4,15bcd	14,52ab		1,40a	3,53a		4,87a	11,68bc		2,13b	3,65a		4,67ab	8,92abcde	
ARAD 200	2,20a	4,58b		3,89bcd	15,51ab		1,43a	3,53a		4,01ab	10,98bcd		2,35ab	2,98abc		4,29ab	6,52cde	
SPT 50	2,05a	5,23ab		5,10abc	15,64ab		1,53a	4,19a		4,08ab	10,39bcd		2,43ab	2,90bc		2,61bc	5,11def	
SPT 100	2,48a	5,98a		4,16bcd	14,30ab		1,58a	3,58a		4,82a	11,62bc		2,50ab	3,35ab		4,79ab	9,55abc	
SPT 200	2,20a	4,55b		6,32ab	17,41a		1,43a	3,50a		5,51a	12,91bc		2,55ab	3,38ab		5,07ab	12,65a	
D.M.S.	0,64	1,28		2,81	6,25		0,69	1,14		3,34	4,57		1,07	0,74		2,95	4,23	
C.V. (%)	10,19	8,79		4,55	15,97		15,26	10,45		23,70	13,53		15,43	7,83		24,13	19,17	
Centrosema																		
Testemunha	1,43a	3,48d		2,75ab	7,84c		1,28b	3,55c		2,25ab	9,07c		1,45a	0,41c		1,93b	2,27c	
FCN 50	1,38a	5,95cd		3,40ab	15,43bc		1,45b	6,90b		2,33ab	16,25bc		1,60a	2,95b		2,30ab	9,78ab	
FCN 100	1,58a	7,28bcd		3,63a	20,19b		1,45b	5,39bc		2,28ab	14,18bc		1,60a	3,10b		2,33ab	7,10abc	
FCN 200	1,38a	8,18bc		2,87ab	19,06b		1,58b	6,62bc		2,28ab	14,71bc		1,65a	2,73bc		2,08b	4,78abc	
YOORIN 50	1,55a	8,91bc		3,00ab	20,11b		1,38b	7,59ab		2,10b	17,37abc		1,68a	2,06bc		2,15ab	5,99abc	
YOORIN 100	1,60a	10,56ab		3,10ab	21,79b		1,58b	8,52ab		2,33ab	19,26ab		1,78a	2,51bc		2,43ab	7,39abc	
YOORIN 200	1,78a	14,79a		3,68a	33,72a		1,58b	7,07b		2,90a	25,06a		2,05a	3,97ab		3,15a	10,49a	
ARAD 50	1,43a	7,43bcd		2,68b	15,02bc		1,45b	7,23b		2,23ab	16,79abc		1,50a	2,16bc		2,18ab	5,12abc	
ARAD 100	1,63a	8,67bc		3,00ab	17,00b		1,55b	6,19bc		2,40ab	14,98bc		1,90a	6,03a		2,18ab	6,86abc	
ARAD 200	1,43a	9,16bc		3,18ab	20,23b		1,53b	6,89b		2,93a	16,14bc		1,65a	2,85b		2,10b	5,12abc	
SPT 50	1,50a	8,69bc		2,80ab	16,44bc		1,58b	7,03b		2,45ab	14,38bc		1,65a	2,60bc		2,30ab	4,23bc	
SPT 100	1,55a	8,74bc		3,03ab	17,99b		1,63b	8,23ab		2,43ab	18,39ab		1,63a	2,20bc		2,08b	6,95abc	
SPT 200	1,40a	9,05bc		2,80ab	19,76b		2,20a	10,77a		2,43ab	16,23bc		1,65a	2,09bc		2,65ab	7,80abc	
D.M.S.	0,61	4,25		0,95	8,99		0,48	3,30		0,75	8,61		0,66	2,39		1,00	5,66	
C.V. (%)	13,54	16,78		10,38	16,10		10,33	15,69		10,36	17,71		13,29	29,30		14,75	28,59	

Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O teor foliar de Mg presente na matéria seca foi de $3,0 \pm 0,9 \text{ g kg}^{-1}$ na alfafa e $2,0 \pm 0,5 \text{ g kg}^{-1}$ na centrosema, valores que estão de acordo com os obtidos por Gallo et al. (1974), Plancquaert (1977), Plank (1988), Kornelius & Ritchey (1992), James et al. (1995b) e Moreira et al. (1997) para alfafa e por Andrew & Robins (1969b), Gallo et al. (1974) e Costa & Curado (1980) para a centrosema.

Os maiores teores de Mg trocável nos três extratores (resina, KCl e Mehlich 3) foram encontrados no termofosfato Yoorin ($2,0 \pm 0,6 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ na alfafa e $2,0 \pm 0,8 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ na centrosema). O superfosfato triplo e os fosfatos naturais da Carolina do Norte e de Arad apresentaram valores semelhantes ($1,5 \pm 0,3 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ na alfafa e $1,3 \pm 0,3 \text{ cmol}_e \text{ dm}^{-3}$ na centrosema). Este resultado corrobora os obtidos por Yasuda (1989) e Castro (1991), que observaram maior teor de Mg no solo, no tratamento com termofosfato.

Com relação a quantidade de Mg presente na matéria seca da alfafa, mesmo apresentando alto coeficiente de variação (23,95%), houve efeito significativo em função das épocas de corte. Na centrosema, na média de todas as fontes, o sexto corte apresentou a menor quantidade de Mg, provavelmente, em decorrência do esgotamento natural deste nutriente no solo (Apêndice 13).

5.8. Micronutrientes

5.8.1. Cobre, Ferro e Manganês

Os teores de Cu, Fe e Mn na parte aérea das plantas não foram alterados significativamente ($P < 0,05$) pelas doses e fontes de fósforo, não se observando, portanto, os efeitos reportados por Malavolta (1980), Malavolta et al. (1989) e Loué (1993), sobre a indução de deficiência de Cu, Fe e Mn, na presença de altas doses de P. A aplicação destes micronutrientes no terceiro corte, provavelmente, deve ter minimizado este efeito.

A média dos teores na matéria seca foram de $16,9 \pm 4,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu, $137,4 \pm 40,6 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe e $112,8 \pm 67,2 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn na alfafa e de $18,1 \pm 7,0 \text{ mg kg}^{-1}$ de Cu, $155,9 \pm 38,5 \text{ mg kg}^{-1}$ de Fe e $204,2 \pm 99,9 \text{ mg kg}^{-1}$ de Mn na centrosema. Estes teores são coincidentes com os obtidos por Rhykerd & Overdahl (1972), Gallo et al. (1974), Haag & Hass (1982), Smith (1986), Plank (1988) e Moreira et al. (1996) para alfafa e por Gallo et al. (1974), Costa & Curado (1980) e Smith (1986) para a centrosema. Não houve efeito das épocas de corte sobre o teores de Cu, Fe e Mn.

Visualizando os Apêndices 14, 15 e 16, percebe-se que na soma de todas as doses, houve efeito significativo nos teores e nas quantidades de Cu, Fe e Mn, quando se observa as épocas de corte.

Na alfafa e na centrosema os menores teores de Cu ocorreram no primeiro corte, porém, na alfafa houve um aumento no segundo corte e diminuiu nos cortes subsequentes. Este resultado concorda com os obtidos por Moreira et al. (1996), que trabalhando também em condições de casa de vegetação, observaram uma diminuição no teor de Cu, efeito este mais pronunciado no último corte (sexto). Na centrosema ocorreu o inverso, com aumento significativo no teor foliar, principalmente no último corte. Isto ocorreu possivelmente, devido ao efeito de concentração descritos por Malavolta (1980) e Marschner (1995).

As concentrações de Fe foram semelhantes na alfafa e na centrosema, apresentando um aumento do primeiro até o quinto corte na alfafa e até o segundo na centrosema e diminuindo os teores nos últimos cortes, provavelmente em decorrência do esgotamento deste nutriente nos vasos.

Os teores de Mn nas duas leguminosas também tiveram comportamento semelhantes apresentando teores mais elevados nos primeiros cortes e diminuindo significativamente nos subsequentes, informação esta, que está de acordo com os resultados obtidos por Moreira et al., 1996.

O efeito das épocas de corte nas quantidades de Cu, Fe e Mn, de modo geral, acompanharam a produção de matéria seca da parte aérea das duas leguminosas.

5.8.2. Zinco

Os resultados observados nas Tabelas 35 e 36 demonstram a existência do efeito de inibição não competitiva entre o P e Zn descrito por Malavolta (1980), Mengel & Kirkby (1987), Malavolta et al. (1989), Loué (1993) e Marschner (1995).

Verifica-se que com o aumento das doses de P ocorre uma diminuição nos teores de Zn nas duas leguminosas, porém, isto pouco refletiu na diminuição da produção de MS e no teor de P (Tabela 36). Devido à adubação de manutenção feita após o terceiro corte, teria ocorrido uma maior disponibilidade de Zn no solo. Houve correlação significativa com a produção de MS com o Yoorin na alfafa e com o STP e Yoorin na centrosema.

Tabela 35 - Concentração (mg kg^{-1}) e quantidade ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) de Zn na parte aérea das plantas em resposta às doses (mg kg^{-1}) de P nas diversas fontes estudadas.

Alfafa		
Fonte	Concentração	Quantidade
FCN	$\text{Zn} = 52,277 - 0,061\text{X}$ $\text{R}^2 = 0,91^*$	$\text{Zn} = 150,009 + 0,730\text{X}$ $\text{R}^2 = 0,64^*$
Yoorin	$\text{Zn} = 51,552 - 0,076\text{X}$ $\text{R}^2 = 0,89^*$	$\text{Zn} = 153,671 + 0,918\text{X}$ $\text{R}^2 = 0,66^*$
Arad	$\text{Zn} = 53,984 - 0,049\text{X}$ $\text{R}^2 = 0,94$	$\text{Zn} = 152,677 + 0,817\text{X}$ $\text{R}^2 = 0,63^*$
SPT	$\text{Zn} = 52,674 - 0,030\text{X}$ $\text{R}^2 = 0,89^*$	$\text{Zn} = 142,420 + 1,170\text{X}$ $\text{R}^2 = 0,87^*$
Centrosema		
FCN	$\text{Zn} = 61,531 - 0,082\text{X}$ $\text{R}^2 = 0,92^*$	$\text{Zn} = 286,47 + 4,152\text{X} - 0,017\text{X}^2$ $\text{R}^2 = 0,87^*$
Yoorin	$\text{Zn} = 56,054 - 0,103\text{X}$ $\text{R}^2 = 0,86^*$	$\text{Zn} = 292,82 + 2,933\text{X} - 0,011\text{X}^2$ $\text{R}^2 = 0,69^*$
Arad	$\text{Zn} = 58,157 - 0,041\text{X}$ $\text{R}^2 = 0,89^*$	$\text{Zn} = 293,70 + 4,222\text{X} - 0,016\text{X}^2$ $\text{R}^2 = 0,81^*$
SPT	$\text{Zn} = 57,394 - 0,049\text{X}$ $\text{R}^2 = 0,83$	$\text{Zn} = 269,54 + 4,207\text{X} - 0,015\text{X}^2$ $\text{R}^2 = 0,99^*$

* significativo a 5% de probabilidade

Segundo Loué (1993), sob condições de altas doses de P, existe uma inibição fisiológica, inibindo a translocação do Zn absorvido pela raiz para a parte aérea da planta. Para Saeed & Fox (1979), altas doses de P incrementam a adsorção de Zn, especialmente em latossolos, com isso, sua capacidade de adsorção é aumentada e sua solubilidade decresce, afetando sua absorção pela planta.

Os teores de Zn foram afetados pela época de corte e ficaram na faixa de $49,6 \pm 17,0 \text{ mg kg}^{-1}$ na alfafa e de $49,8 \pm 14,1 \text{ mg kg}^{-1}$ na centrosema, e mostraram de acordo com os níveis de suficiência obtidos por Gallo et al. (1974) e Smith (1986) para ambas leguminosas (Apêndice 17).

Tabela 36 - Correlação entre a concentração de Zn na parte aérea, a produção de matéria seca e a concentração de P na parte aérea.

	Alfafa	
	MS	Teor
FCN	$Y = 14,452 - 0,249X + 0,0009X^2$ $r = -0,59^{ns}$	$Y = 3,573 - 0,019X - 0,0001X^2$ $r = -0,38^{ns}$
Yoorin	$Y = 22,787 - 0,548X + 0,0036X^2$ $r = -0,73^*$	$Y = 4,146 - 0,045X + 0,0002X^2$ $r = -0,43^{ns}$
Arad	$Y = 19,535 - 0,481X + 0,0035X^2$ $r = -0,45^{ns}$	$Y = 4,883 - 0,079X + 0,0005X^2$ $r = -0,13^{ns}$
SPT	$Y = 14,045 - 0,247X + 0,0013X^2$ $r = -0,43^{ns}$	$Y = 7,688 - 0,180X + 0,0015X^2$ $r = -0,10^{ns}$
	Centrosema	
	MS	Teor
FCN	$Y = 40,012 - 0,961X + 0,0067X^2$ $r = -0,66^{ns}$	$Y = 7,475 - 0,185X + 0,0015X^2$ $r = -0,25^{ns}$
Yoorin	$Y = 0,631 - 1,062X + 0,0074X^2$ $r = -0,79^*$	$Y = 1,489 + 0,048X - 0,0007X^2$ $r = -0,47^{ns}$
Arad	$Y = 24,485 - 0,330X + 0,0007X^2$ $r = -0,55^{ns}$	$Y = 1,914 + 0,012X + 0,0002X^2$ $r = -0,25^{ns}$
SPT	$Y = 80,373 - 2,354X + 0,0185X^2$ $r = -0,72^*$	$Y = 1,838 + 0,0048X - 0,0002X^2$ $r = -0,46^{ns}$

* significativo a 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

5.9. pH

Com base nos resultados, observa-se que o termofosfato Yoorin apresentou maior ação neutralizante, elevando significativamente o pH do solo nas duas leguminosas (Tabela 37 e Figura 9). Entretanto, não ocorreu elevação do pH quando foram utilizados os fosfatos naturais da Carolina do Norte (FCN), de Arad e o superfosfato triplo. Resultado que se assemelha aos obtidos pela EMBRAPA (1976) e por Braga & Amaral (1971), Yost et al. (1982), Goedert & Lobato (1984), Sanzonowicz et al. (1987), Yasuda (1989) e Castro (1991), ao verificarem que o termofosfato mostra efeito significativo no aumento do pH do solo. Sendo assim, é razoável acreditar, que além da atividade do silício que favorece a absorção de P (Souza & Yasuda, 1995), a elevação do pH devido ao silicato, também possibilita um melhor aproveitamento de fósforo, e conseqüentemente maior produção de matéria seca.

Observa-se na Figura 9, que na média das amostras, houve um pequeno abaixamento do pH quando se utilizou o superfosfato triplo (SPT). Este resultado corrobora os obtidos por Coleman & Thomas (1967) e Braga & Amaral (1971), que observaram uma queda no pH do solo, que possivelmente, provêm da acidificação causada pela hidrólise do SPT, dando origem à formação do ácido fosfórico, porém, Defelipo et al. (1978), Goedert & Lobato (1984) e Castro (1991) não tiveram efeito significativo do pH, em função das doses, em fontes mais solúveis de P, tais como o superfosfato triplo e o superfosfato simples. Outro fator que pode ter influenciado a diminuição do pH é o tempo de “cura” do fertilizante, em outras palavras, os adubos fosfatados de fabricação mais recente podem ter um maior resíduo de ácido fósforico ou sulfúrico do que os de fabricação mais antiga.

Tabela 37 - Efeito das fontes de P no aumento do pH (CaCl_2 0,01M) em função das épocas de amostragem.

Tratamentos	Alfafa						
	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta	4ª Coleta	5ª Coleta	6ª Coleta	7ª Coleta
Testemunha	4,9	5,5	5,2	5,7	5,3	5,7	5,8
FCN 50	5,0	5,4	5,4	5,5	5,8	5,7	5,6
FCN 100	5,0	5,4	5,9	5,5	5,6	5,5	5,6
FCN 200	5,3	5,5	5,8	5,7	5,8	5,6	5,8
YOORIN 50	5,3	5,9	5,8	6,1	5,8	5,2	5,7
YOORIN 100	5,6	5,9	6,1	6,3	6,1	5,6	6,0
YOORIN 200	6,0	6,4	6,3	6,4	5,9	5,6	6,3
ARAD 50	5,4	5,8	5,7	6,0	5,7	5,6	5,3
ARAD 100	5,3	5,7	5,4	5,8	5,6	5,5	5,3
ARAD 200	5,3	5,7	5,5	5,7	5,7	5,5	5,4
SPT 50	5,1	5,4	5,5	5,4	5,2	5,2	5,2
SPT 100	5,0	5,3	5,7	5,4	5,3	5,5	5,1
SPT 200	5,1	5,1	5,6	5,4	5,2	5,0	5,1
Tratamentos	Centrosema						
	1ª coleta	2ª coleta	3ª Coleta	4ª Coleta	5ª Coleta	6ª Coleta	7ª Coleta
Testemunha	5,2	5,0	4,8	4,8	4,7	4,7	4,7
FCN 50	5,1	5,4	5,2	5,0	5,1	4,5	4,8
FCN 100	4,9	5,4	4,8	5,0	4,7	4,5	4,7
FCN 200	5,2	5,3	5,0	5,0	5,1	4,5	4,7
YOORIN 50	5,3	4,8	4,7	4,9	4,8	4,6	4,9
YOORIN 100	5,4	5,6	5,5	5,2	5,1	4,9	5,7
YOORIN 200	6,0	6,0	5,6	5,5	6,1	5,2	6,0
ARAD 50	5,4	5,1	5,0	4,8	4,6	5,1	4,9
ARAD 100	5,4	5,0	5,0	5,1	4,7	4,8	4,8
ARAD 200	5,4	5,2	5,3	4,8	5,2	5,2	4,8
SPT 50	5,0	4,5	4,8	4,5	4,9	4,8	4,3
SPT 100	4,9	5,0	4,7	4,4	4,3	4,7	4,2
SPT 200	4,9	5,2	4,3	4,5	4,5	4,8	4,6

Figura 9 - Efeito das doses e fontes de P como corretivo da acidez do solo na alfafa (a) e na centrosema (b) - média de todas amostragens de solo.

6. CONCLUSÕES

1. Em todas as fontes, as doses de P proporcionam aumento significativo na produção e no teor de P presente na matéria seca.
2. Os fertilizantes apresentam maior “Índice de Eficiência” na centrosema quando se compara com a alfafa.
3. Os maiores índices de “Eficiência Agronômica” e “Equivalente Superfosfato Triplo” são obtidos com o termofosfato Yoorin.
4. Os extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina apresentam entre eles alto coeficiente de correlação e foram eficientes na avaliação do fósforo disponível.
5. Os fosfatos naturais apresentam a maior taxa de recuperação, ambos superiores ao termofosfato Yoorin e ao superfosfato triplo.
6. As doses e fontes de P aumentam a concentração de N na matéria seca da parte aérea, somente na centrosema.
7. Nas duas leguminosas as doses de P elevam o teor de Ca nas plantas em todas as fontes, enquanto o teor de Mg só foi influenciado pelo termofosfato Yoorin.

8. O termofosfato Yoorin eleva o pH do solo, enquanto o SPT concorre para acidificação do solo.
9. Os três extratores de Ca e Mg (Mehlich 3, KCl e resina), com exceção da raiz, não apresentaram correlação com a produção de matéria seca.
10. Nas duas leguminosas as doses e fontes de P afetaram a absorção de Zn e apresentaram correlação com a produção de MS do termofosfato Yoorin.
11. As doses e fontes de P, nas duas leguminosas, não afetaram os teores de Cu, Fe e Mn da planta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACCIOLY, A.M.A.; FERNANDES, L.A.; GUEDES, G.A.A.; FURTINI NETO, A.E.; ANDRADE, C.A.B. Avaliação do fósforo disponível em solos de várzea pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3 e resina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumos expandidos...** Viçosa: UFV, 1995. p.986-8.
- 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 Ciência do Solo**, v.3, n.3, p.173-8, 1979.
- ALVAREZ, V.H.; FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, n.1, p.49-55, 1990.
- ALVES, R.J.T.; ANDRADE, P.R.G.; CASTRO, M.F.A.; LIMA JÚNIOR, M.A. Avaliação do fósforo “disponível” para as plantas por três extratores em seis solos de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumos expandidos...** Viçosa: UFV, 1995. p.983-5.
- ANDREW, C.S. Legumes and acid soils. In: INTERNATIONAL LATIN AMERICAN SYMPOSIUM, 15. Brasília, 1977. **Limitations and potentials for biological nitrogen fixation in the tropics**, New York, 1978. p.137-57.

- ANDREW, C.S.; ROBINS, M.F. The effect of phosphorus on the growth and chemical composition of some tropical pasture legumes. I. Growth and critical percentages of phosphorus. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.20, n.2, p.665-74, 1969a.
- ANDREW, C.S.; ROBINS, M.F. The effect of potassium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. II. Potassium, calcium, magnesium, sodium, nitrogen, phosphorus and chloride. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.20, n.2, p.1009-21, 1969b.
- ANGHINONI, I.; BOHNEN, H. Avaliação da disponibilidade do fósforo para os solos do Rio Grande do Sul. **Agronomia Sulrigrandense**, v.10, n.1, p.127-36, 1974.
- BARBER, S.A. Application of phosphate fertilizers; methods rates and time of application in relation to the phosphorus status of soils. **Phosphorus in Agriculture**, v.31, n.70, p.109-15, 1977.
- BRAGA, J.M.; AMARAL, F.A. Efeito de fontes de fósforo na variação de pH e disponibilidade de fósforo, cálcio e magnésio. **Ceres**, v.17, n.98, p.325-35, 1971.
- BRASIL, E.C. Disponibilidade de fósforo em solos da Amazônia tratados com fertilizantes fosfatados. Piracicaba, 1994, 160p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Univesidade de São Paulo.
- BRASIL, E.C.; MURAOKA, T. Comparação de extratores de fósforo em solos da Amazônia Oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumos expandidos...** Viçosa: UFV, 1995. p.980-2.

- BRASIL, E.C.; MURAOKA, T.; VALENTE, M.A. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados em solos do Pará. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO DE NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS, 22., Manaus, 1996. **Resumos expandidos...** EMBRAPA: SBCS, 1996. p.168-9.
- CASDISCH, G.; SYLVESTER-BRADLEY, R.; NOSBERGER, J. Variation in growth and N₂ fixation within and among *Centrosema* spp. in response to phosphorus supply. **Tropical Grasslands**, v.26, n.1, p.226-34, 1992.
- CARVALHO, M.M.; FRANÇA, G.E.; BAHIA FILHO, A.F.C.; MOZZER, O.L. Ensaio exploratório de fertilização de seis leguminosas tropicais em um latossolo vermelho-escuro. Fase mata. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.6, n.1, p.285-90, 1971.
- CARVALHO, M.M.; SARAIVA, O.F.; OLIVEIRA, F.T.T.; MARTINS, C.E. Resposta de leguminosas forrageiras tropicais à calagem e ao fósforo, em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, n.1, p.153-9, 1988.
- CASANOVA, E.F. Agronomic evaluation of fertilizers with special reference to natural and modified phosphate rock. **Fertilizer Research**, v.41, n.3, p.211-8, 1995.
- CASTRO, C. Avaliação agronômica de termofosfatos magnesianos fundidos, produzidos a partir de minérios oriundos de Maicuru - PA. Belém, 1991, 80p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias do Pará.

- CEKINSKI, E. Fertilizantes fosfatados In: CEKINSKI, E.; CALMANOVICI, C.E.; BICHARA, J.M.; FABIANI, M.; GIULIETTI, M.; CASTRO, M.L.M.M.; SILVEIRA, P.B.M.; PRESSINOTTI, Q.S.H.C.; GUARDANI, R., ed. **Tecnologia de produção de fertilizantes**. São Paulo: IPT, 1990. p.95-129.
- 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, n.6, p.935-9, 1978.
- CLEMENTS, R.J.; WILLIAMS, R.J.; GROF, B. HACKER, J.B. Centrosema. In: BURT, R.L.; ROTAR, P.P.; WALKER, J.L.; SILVEY, M.W., ed. **The role of Centrosema, Desmodium, and Stylosanthes in improving tropical pastures**. Boulder: Westview Press, 1983. p.69-91.
- COELHO, F.S.; VERLENGIA, F. **Fertilidade do solo**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1973. 384p.
- COLEMAN, N.T.; THOMAS, G.W. The basic chemistry of soil acidity. In: PEARSON, R.W.; ADAMS, F., ed. **Soil acidity and liming**. Madison: American Society of Agronomy, 1967. p.1-42.
- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para o Estado da Bahia**. Salvador: CEPLAC / EMATER-BA / EMBRAPA / EPABA / NITROFERTIL, 1989. 173p.
- CORRÊA, I.A.; HAAG, H.P. Disponibilidade de fósforo pelos extratores de Mehlich 1 e resina em latossolo vermelho-amarelo, álico cultivado com três gramíneas forrageiras. **Scientia Agricola**, v.50, n.2, p.287-94, 1993.

- COSTA, N.L. Efeitos da adubação fosfatada sobre o crescimento, nodulação e composição química de três leguminosas forrageiras tropicais. **Agronomia Sulriograndense**, v.24, n.1, p.107-20, 1988.
- COSTA, N.M.S.; CURADO, T.F.C. Leguminosas para pastagens cultivadas em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, v.6, n.71, p.18 - 30, 1980.
- ✕ CRESPO, G.; CURBELO, F. Response to P of *Centrosema pubescens* and *Pueraria phaseoloides* in a luvisol soil of Pinar del Río province. **Cuban Journal of Agriculture Science**, v.24, n.2, p.225-30, 1990.
- DAY, D.P. Aspects of North Carolina phosphate rock. In: **TECHNICAL CONFERENCE, 19.**, Auckland, 1983. **Proceedings...** Auckland: New Zealand Fertiliser Manufacture Research Association, 1983, v.1, p.43-80.
- DEFELIPO, B.V.; BORGES, R.E.; MENDONÇA, B.M. Adubos fosfatados na correção da acidez do solo. **Cerne**, v.38, n.86, p.41-50, 1978.
- DELISTOIANOV, J.; MATTOS, H.B.; MONTEIRO, F.A. Aplicação de fontes de fósforo e gesso em uma pastagem consorciada estabelecida em um latossolo vermelho-escuro. **Boletim da Indústria Animal**, v.49, n.2, p.83-90, 1992.
- EMBRAPA. **Relatório técnico anual de 1976**. Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1976. p.59-69.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo**. Rio Janeiro: SNLCS, 1979.

- EVANS, C.E.; MCGUIRE, J.A. Comparison of soil test extractants on Alabama soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.21, n.13-16, p.1037-50, 1990.
- FAGERIA, N.K.; BALIGAR, V.C. Response of legumes and cereals to phosphorus in solution culture. **Journal of Plant Nutrition**, v.12, n.9, p.1005-19, 1989.
- FANCELLI, A.L.; WERNER, J.C.; MONTEIRO, F.A. Ensaio de adubação com *Centrosema pubescens* Benth. cultivada em solo de São José do Rio Preto e Andradina (SP). **Boletim da Indústria Animal**, v.3, n. 1, p.61-76, 1981.
- FASSBENDER, H.W.; BORNEMISZA, E. **Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina**. 2.ed. San José: IICA, 1994. 420p.
- 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 Ciência do Solo**, v.2, n.3, p.193-5, 1978.
- FENSTER, W.E.; LEÓN, L.A. Consideração sobre a fertilização fosfatada no estabelecimento e persistência de pastagens em solos ácidos e de baixa fertilidade na América Latina Tropical. In: SÁNCHEZ, P.A.; TERGAS, L.E.; SERRÃO, E.A.S., ed. **Produção de pastagens em solos ácidos tropicais**. Brasília: CIAT, 1982. p.127-41.
- FERNANDES, F.M.; FERREIRA, M.E.; MELLO, F.A.F. Fontes e doses de adubos fosfatados na cultura da soja, em solo de cerrado. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v.41, n.2, p.655-74, 1984.

- FITTS, J.W.; NELSON, W.L. The determination of lime and fertilizer requirements of soils through chemical tests. **Advances in Agronomy**, v.8, p.241-82, 1956.
- FONTES, P.C.R.; MARTINS, C.E.; CÔSER, A.C.; VILELA, D. Produção e níveis de nutrientes em alfafa (*Medicago sativa* L.) no primeiro ano de cultivo, na zona da mata de MG. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.22, n.2, p. 205-11, 1993.
- FOX, R.H. Selection for phosphorus efficiency in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.9, n.1, p.13-37, 1978.
- FOX, R.L. Studies on phosphorus nutrition in the tropics. In: ANDREW, C.S.; KAMPRATH, E.J., ed. **Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils**. Melbourne: CSIRO, 1978. p.169-87.
- FREITAS, A.D.S.; SABINO, S.T.B.O.; LIMA JÚNIOR, M.A. Seleção de extratores de fósforo em dois solos da zona da mata de Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., Viçosa, 1995. **Resumos expandidos...** Viçosa: UFV, 1995. p.978-9.
- GALLO, J.R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O.C.; FURLANI, P.R.; FURLANI, A.M.C.; MATTOS, H.B.; SARTINI, H.J.; FONSECA, M.P. Composição química inorgânica de forrageiras do Estado de São Paulo. **Boletim da Indústria Animal**, v.31, n. 1, p.115-37, 1974.
- GALRÃO, E.Z.; VOLKWEISS, S.J. Disponibilidade de fósforo do solo para as plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, n.1, p.114-8, 1981.

- GASCHO, G.J.; GAINES, T.P.; PLANK, C.O. Comparison of extractants for testing coastal plain soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.21, n.13-16, p.1051-77, 1990.
- X GILBERT, M.A.; JONES, R.K.; JONES, P.N. Evaluating the nutritional characteristics of tropical pasture legumes. **Tropical Grasslands**, v.26, n.2, p.213-25, 1992.
- GOEDERT, W.J. Efeito residual de fosfatos naturais em solos de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, n.5, p.499-506, 1983.
- GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solo de cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, n.1, p.97-102, 1984.
- GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUZA, D.M.G. Eficiência agronômica de fosfatos naturais, fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.25, n.4, p.521-30, 1990.
- ✓ GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W.J., ed. **Solos dos cerrados: tecnologia e estratégias de manejo**. São Paulo: Nobel, 1985. p.129-63.
- GOSS, D.W.; STEWART, B.A. Efficiency of phosphorus utilization by alfalfa from manure and superphosphate. **Soil Science Society of American Journal**, v.43, n.3, p.523-8, 1979.
- ✗ GRIFFITH, W.K. Satisfying the nutritional requirements of established legumes. In: MAYS, D.A., ed. **Forage fertilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1974. p.147-69.

- ✓ GUSS, A.; GOMIDE, J.A.; NOVAIS, R.F. Exigências de fósforo para o estabelecimento de quatro leguminosas forrageiras tropicais em solos com distintas características físico-químicas. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.19, n.5, p.450-8, 1990.
- HAAG, H.P.; HASS, F.J. Recrutamento de nutrientes por uma cultura de alfafa (*Medicago sativa* L.). **O Solo**, v.74, n.1, p.57-64, 1982.
- HILL Jr., R.R.; LANYON, L.E. Phosphorus fertilizer response in experimental alfafas selected for different phosphorus concentrations. **Crop Science**, v.23, n.5, p.973-6, 1983
- HOLANDA, J.S.; BRASIL, E.C.; SALVIANO, A.A.C.; CARVALHO, M.C.S.; RODRIGUES, M.R.L.; MALAVOLTA, E. Eficiência de extratores de fósforo para um solo adubado com fosfatos e cultivado com arroz. **Scientia Agricola**, v.52, n.3, p.561-8, 1995.
- INDÚSTRIA DE FERTILIZANTES MANAH. **FOSMAG**; multifosfato magnesiano. São Paulo, 1988. 10p.
- JAMES, D.W.; HURST, C.J.; TINDALL, T.A. Alfalfa cultivar response to phosphorus and potassium deficiency elemental: composition of the herbage. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, n.11, p.2447-64, 1995a.
- ✓ JAMES, D.W.; TINDALL, T.A.; HURST, C.J.; HUSSEIN, A.N. Alfalfa cultivar responses to phosphorus and potassium deficiency: biomass. **Journal of Plant Nutrition**, v.18, n.11, p.2431-45, 1995b.

JORGE, J.A.; VALADARES, J. Formas de fósforo em solos do Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.28, n.2, p.23-30, 1969.

KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLE, E.C.; KAMPRATH, E.J., ed. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: American Society of Agronomy, 1980. p.433-69.

KHASAWNEH, F.E.; DOLL, E.C. The use of phosphate rock for direct application to soils. **Advances in Agronomy**, v.30. p.159-206, 1978.

KERRIDGE, P.C.; RATCLIFF, D. Comparative growth of four tropical pasture legumes and guinea grass with different phosphorus sources. **Tropical Grasslands**, v.16, n.1, p.33-40, 1982.

KORNELIUS, E.; RITCHEY, K.D. Comportamento da alfafa em diferentes níveis de acidez do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.26, n.2, p.241-6, 1992.

LANYON, L.E.; GRIFFITH, W.K. Nutrition and fertilizer use. In: HANSON, A.A.; BARNES, D.K.; HILL, R.R., ed. **Alfalfa and alfalfa improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1988. p.333-67.

LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**, v.19, p.151-210, 1967.

LEÓN, L.A.; FENSTER, W.E.; HAMMOND, L.L. Agronomic potential of eleven phosphate rocks from Brazil, Colombia, Perú, and Venezuela. **Soil Science Society of America Journal**, v.50, n.2, p.798-802, 1986.

- ✕ LOBATO, E.; KORNELIUS, E; SANZONOWICZ, C. Adubação Fosfatada em Pastagens. In: MATTOS, H.B.; WERNER, J.C.; YAMADA, I.; MALAVOLTA, E., ed. **Calagem e adubação de pastagens**. Piracicaba: POTAFOS, 1986. p.145-74.
- LOPES, A.S. **Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1984. 162p.
- LOPES, A.S.; GUIMARÃES, P.T.G. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 4ª aproximação**. Lavras: CFSEMG, 1989. 159p.
- LOUÉ, A. **Oligo-éléments en agriculture**. Antibes: SCPA/NATHAN, 1993. 577p.
- MAHLER, R.L. Influence of pH on yield and N and P nutrition of alfalfa grown on an andic mission silt loam. **Agronomy Journal**, v.75, n.3, p.731-35, 1983.
- MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MALAVOLTA, E. **Adubos e adubação fosfatada**. São Paulo: Fertilizantes Mitsui, 1985. 61p.
- ✕ MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas; princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201p.

- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London: Academic Press, 1995. 889p.
- MEHLICH, A. Mehlich 3 soil test extractant: a modification of Mehlich 2 extractant. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.15, n.12, p.1409-16, 1984.
- MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.9, n.2, p.477-92, 1978.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition.** Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MESA, A.R.; HERNÁNDEZ, M. Nivel crítico de fósforo en *Centrosema pubescens* SIH-129. **Pastos y Forrajes**, v.19, n.1, p.85-8, 1996.
- MEYER, R.D.; MARTIN, W.E. Plant analysis as a guide for fertilization of alfalfa. In: REISENAUER, H.M., ed. **Soil and plant-tissue testing in California.** Berkeley: Division of Agricultural Sciences, University of California, 1976. p.26-9. (Bulletin, 1879).
- MICHAELSON, G.J.; PING, C.L. Extraction of phosphorus from the major agricultural soils of Alaska. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.17, n.3, p.275-97, 1986.
- MORAIS, F.I.; SANTANA, C.J.L.; PEREIRA, G.C. Efeitos da aplicação de diferentes fontes de fósforo no crescimento do cacaueiro em casa de vegetação. **Revista Theobroma**, v.9, n.3, p.119-28, 1979.

- MOREIRA, A.; CARVALHO, J.G.; EVANGELISTA, A.R. Efeito de doses de enxofre na absorção de micronutrientes e sua correlação com a produção de matéria seca na alfafa. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO DE NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS, 22., 1996, Manaus. **Resumos expandidos...** EMBRAPA: SBCS, 1996. p.520-1.
- MOREIRA, A.; CARVALHO, J.G.; EVANGELISTA, A.R. Efeito de doses de enxofre na produção e composição mineral da alfafa. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.5, p.533-8, 1997.
- MOREIRA, A.; REIS, S.T.; EVANGELISTA, A.R.; SILVA, R.; CARVALHO, J.G. Efeito da relação Ca:Mg nos teores e quantidades de macronutrientes assimilados pela alfafa (*Medicago sativa* L.) cv. Crioula. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 31., 1994, Maringá. **Anais...** Maringá: SBZ, 1994. p.633.
- MOREIRA, A.; SILVEIRA, R.A.V.A.; ABREU, J.B.R.; DIAS, F.L.F.; MALAVOLTA, E. Resposta do arroz em dois cultivos a doses e fontes de fósforo em um latossolo vermelho-amarelo distrófico (oxisol). (Compact Disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 7., Águas de Lindóia, 1996. Solo-Suelo 96: Trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS, 1996.
- MUNNS, D.N. Soil acidity and nodulation. In: ANDREW, C.S.; KAMPRATH, E.J., ed. **Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils**. Melbourne: CSIRO, 1978. p.247-63.

- MUZZILI, O. Adubação fosfatada no Estado do Paraná. In: OLIVEIRA, A.; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J., ed. **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA-DID, 1982. p.61-101.
- MUZZILI, O.; LANTMANN, A.F.; PALHANO, J.B.; OLIVEIRA, E.L.; PARRA, M.S.; COSTA, A.; CHAVES, J.C.D.; ZOCOLER, D.C. **Análise de solos: interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1978. 49p. (IAPAR - Circular 9)
- NEME, N.A.; NERY, J.P. Influência de adubos minerais e do calcário na produção e composição química de leguminosas forrageiras perenes. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 9, São Paulo, 1965. **Proceedings...** São Paulo: Departamento de Produção Animal, 1966. p.665-70.
- NIELSON, F.R.; OWENS, G. Phosphorus on alfalfa; a fertilizer rate and frequency study. **Utah Science**, v.25, n.2, p.46-8, 1964.
- OLIVEIRA, E.L.; MUZZILI, O; IGUE, K.; TORNERO, T.T. Avaliação da eficiência agronômica de fosfatos naturais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.8, n.1, p.63-7, 1984.
- OLSEN, S.R.; DEAN, L.A. Phosphorus. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1986. V.2, p.1035-49.
- OLSEN, S.R.; SOMMERS, L.E. Phosphorus. In: MILLER, R.H.; KEENEY, D.R., ed. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p.403-30.

- OLSEN, S.R; WATANABE, F. A method to determine a phosphorus absorption maximum of isotherm. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.21, n.1, p.144-9, 1957.
- × PAULINO, V.T.; COSTA, N.L.; CARDELLI, M.A.; RODRIGUES, A.N.; CHAGAS, F. Eficiência de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares e da adubação fosfatada em *Centrosema brasilianum* (L.) Benth. **Pasturas Tropicales**, v.14, n.3, p.14-17, 1992.
- PIHA, M.I. Evaluation of Mehlich 3 extractant for estimating phosphorus deficiency and phosphorus sorption of Zimbabwean soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.24, n.11-12, p.1397-1408, 1993.
- PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: Nobel, 1990. 468p.
- PLANCQUAERT, P. La culture de la luzerne. **Perspectives Agricoles**, v.3, n.1, p.46 - 55, 1977.
- PLANK, C.O. Alfalfa. In: PLANK, C.O., ed. **Plant analysis handbook for Georgia**. Athens: Cooperative of Extension Service, 1988. p.18-9.
- PUPO, N.I.H. **Manual de pastagens e forrageiras**; formação, conservação e utilização. Campinas: ICEA, 1979. 343p.

- QUAGGIO, J.A.; RAIJ, B. van. Comparação de métodos rápidos para a determinação da matéria orgânica em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, n.1, p.184-7, 1979
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Agronômica Ceres / POTAFOS, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van. Fósforo no solo. In: BULL, L.T.; ROSOLEN, C.A., ed. **Interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1989. p.75-96.
- RAIJ, B. van. Seleção de métodos de laboratório para avaliar a disponibilidade de fósforo em solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.2, n.1, p.1-9, 1978.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; SILVA, N.M. Extraction of phosphorus, potassium, calcium, and magnesium from soils by an ion-exchange resin procedure. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.17, n.5, p.547-66, 1986.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1987. 170p.
- RAIJ, B. van; SILVA, N.M.; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H. BELLINAZZI JÚNIOR, O.C.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. **Recomendações de adubação para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1992. 135p. (IAC - Boletim 100)

- RAJAN, S.S.S.; BROWN, M.W.; BOYES, M.K.; UPSDELL, M.P. Extractable phosphorus to predict agronomic effectiveness of ground and unground phosphate rocks. **Fertilizer Research**, v.32, n.3, p.291-302, 1992.
- REID, R.L.; JUNG, G.A. Effects of elements other than nitrogen on the nutritive value of forage. In: MAYS, D.A., ed. **Forage fertilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1974. p.395-435.
- REIN, T.A.; SOUZA, D.M.G.; LOBATO, E. **Eficiência de um fosfato natural de alta reatividade em função da sua granulometria, forma de aplicação e da acidez de um solo de cerrado**. Planaltina: CPAC-EMBRAPA/TAKENAKA S.A., 1994. 8p. (CPAC. Relatório Final, 4)
- RHYKERD, C.L.; OVERDAHL, C.J. Nutrition and fertilizer use. In: HANSON, C.H., ed. **Alfalfa science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 1972. v.2, p.533-69.
- ROBSON, A.D. Fixation in legumes. In: ANDREW, C.S.; KAMPRATH, E.J., ed. **Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils**. Melbourne: CSIRO, 1978. p.277-93.
- RUSSELL, E.W. **Soil conditions and plant growth**. London: Longman, 1973. p.555-80.: The sources of plant nutrients in the soil: Phosphate.
- SAEED, M.; FOX, R.L. Influence of phosphate fertilization on zinc adsorption by tropical soils. **Soil Science Society of American Journal**, v.43, n.2, p.683-6, 1979

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**, v.22, n.3, p.233-43, 1987.

X SCHMEHL, W.R.; ROMSDAL, S.D. alfafa. **Technical Bulletin. Colorado Agricultural Experimental Station**, n.1, p.1-74, 1963.

SHAND, C.R. Rock phosphorus response trials in sugarcane. **Technical Report. Caroni Research Station**, n.4, p.43-52, 1985.

X SHEAFFER, C.C.; LACEFIELD, G.D.; MARBLE, V.L. Cutting schedules and stands. In: HANSON, A.A.; BARNES, D.K.; HILL, R.R., ed. **Alfalfa and alfalfa improvement**. Madison: American Society of Agronomy, 1988. p.411-37.

SILVEIRA, R.L.V.A.; MOREIRA, A.; ABREU, J.B.R.; DIAS, F.L.F.; VIRGENS FILHO, A.C.; CAMARGO, M.A.F. Determinação do fósforo disponível pelos extratores Mehlich 1, Mehlich 3, Bray 1, Resina e valor "E" em um latossolo vermelho-amarelo distrófico (Oxisol). (Compact Disc). In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE CIÊNCIA DO SOLO, 7., Águas de Lindóia, 1996. Solo - Suelo 96: trabalhos. Piracicaba: SBCS/SLCS, 1996.

SIQUEIRA, O.J.F.; SCHERE, E.E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I., PATELLA, J.F.; TEDESCO, M.J.; MILAN, P.A.; ERNANI, P.R.; WIETHÖLTER, S. **Recomendações de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 2.ed. Passo Fundo: SBCS-Núcleo Regional Sul / EMBRAPA - CNPT, 1989. 128p.

- ✓ SMITH, D. Cutting schedules and maintaining pure stands. In: HANSON, C.H., ed. **Alfalfa science and technology**. Madison: American Society of Agronomy, 1972. v.2, p.481-96.
- ✂ SMITH, D.; POWELL, R.D. Yield alfalfa as influenced by levels of P and K fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.10, n.3, p.-531-43, 1979.
- SMITH, F.W. Pasture species. In: REUTER, D.J.; ROBINSON, J.B., ed. **Plant analysis**; an interpretation manual. Melbourne: INKATA, 1986. p.100-19.
- SOUZA, E.C.A. de; YASUDA, M. **Uso agronômico do termofosfato no Brasil**. São Paulo: Fertilizantes Mitsui, 1995. 60p.
- STEFANUTTI, R.; MURAOKA, T.; MALAVOLTA, T. Comportamento de extratores em solo tratado com fontes diversas de fósforo. **Scientia Agricola**, v.51, n.1, p.105-12, 1994.
- TANAKA, R.T.; BAHIA, V.G.; COELHO, A.M.; FREIRE, J.C. Seleção de extratores de fósforo do solo em função das respostas das plantas de milho (*Zea mays* L.) e da adubação com fosfato Patos-de-Minas em condições de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.5, n.1, p.38-42, 1981.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan, 1985. p.189-248: Soil and fertilizer phosphorus.
- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D.; HAVLIN, J.L. **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan, 1993. p.176-229: Soil and fertilizer phosphorus.

- TRAN, T.S.; GIROUX, M.; GUILBEAUT, J.; AUDESS, P. Evaluation of Mehlich-III extractant to estimate the available P in Quebec Soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.21, n.1, p.1-28, 1990
- VASCONCELOS, C.A.; SANTOS, H.L.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. Eficiência agronômica de fosfatos naturais para a cultura de sorgo-granífero. I. fósforo total e solúvel em ácido cítrico e granulometria. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, n.2, p.117-21, 1986a.
- VASCONCELOS, C.A.; SANTOS, H.L.; FRANÇA, G.E.; PITTA, G.V.E.; BAHIA FILHO, A.F.C. Eficiência agronômica de fosfatos naturais para a cultura de sorgo-granífero. II. Produção de grãos, eficiência relativa e fósforo disponível. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.10, n.2, p.123-28, 1986b.
- VETTORI, L. **Métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24p. (Boletim Técnico 07)
- VIANDS, D.R.; BARNES, D.K.; HEICHEL, G.H. **Nitrogen fixation in alfalfa**; responses to bidirectional selection for associated characteristics. Washington: USDA, 1981. 24p. (Bulletin, 1643).
- WALWORTH, J.L.; SUMNER, M.E. Alfalfa response to lime, phosphorus, potassium, magnesium, and molybdenum on acid ultisols. **Fertilizer Research**, v.24, n.3, p.167-72, 1990.
- WERNER, J.C.; MATTOS, H.B. Estudos de nutrição da centrosema (*Centrosema pubescens* Benth.). **Boletim da Indústria Animal**, v.29, n.2, p.375-91, 1972.

- WERNER, J.C.; MONTEIRO, F.A. Efeitos das adubações fosfatada e potássica na produção de um pasto consorciado de gordura com centrosema. **Boletim da Indústria Animal**, v.32, n.2, p.301-12, 1974.
- WILLIAMS, J.E. Rock phosphate in the Southwest. **The Cattleman**, v.40, n.7, p.25-58, 1953.
- WOLF, A.M.; BAKER, D.E. Comparisons of soil test phosphorus by Olsen, Bray P1, Mehlich I and Mehlich III methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.16, n.5, p.467-84, 1985.
- YASUDA, M. Comportamento de fosfatos silicatados em solo de cerrado. Piracicaba, 1989. 62p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- YOST, R.S.; NADERMAN, G.C.; KAMPRATH, E.J.; LOBATO, E. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. **Agronomy Journal**, v.74, n.3, p.462-8, 1982

APÊNDICES

APÊNDICE - 1

Efeito das doses de P sobre a produção da alfafa: (a) Fósforo natural da Carolina do Norte, (b) Termofósforo Yoorin - 3º corte.

APÊNDICE - 2

Efeito das doses de P sobre a produção da alfafa: (a) Fósforo natural de Arad, (b) Superfósforo triplo - 3^o corte.

APÊNDICE - 3

Efeito das doses de P sobre a produção da centrosema: (a) Fosfato natural da Carolina do Norte, (b) Termofosfato Yoorin - 3ª corte.

APÊNDICE - 4

Efeito das doses de P sobre a produção da centrosema: (a) Fosfato natural de Arad, (b) Superfosfato triplo - 3^o corte.

APENDICE - 5

Efeito das fontes e doses de P na produção da matéria seca(g vaso⁻¹), concentração (mg kg⁻¹) e quantidade (g vaso⁻¹) de raiz - média de 3 repetições.

Alfafa					
Matéria seca					
Fonte	mg kg ⁻¹ de P				R ²
	0	50	100	200	
Fosfato da Carolina do Norte	5,41	7,69	11,23	9,98	0,93*
Termofosfato Yoorin	5,41	9,63	11,35	11,41	0,99*
Fosfato de Arad	5,41	8,65	10,25	9,32	0,99*
Superfosfato triplo	5,41	9,12	10,51	10,30	0,99*
Concentração (teor)					
Fosfato da Carolina do Norte	1,10	2,40	2,50	2,70	0,92*
Termofosfato Yoorin	1,10	2,00	2,60	3,00	0,99*
Fosfato de Arad	1,10	1,10	1,70	2,10	0,91*
Superfosfato triplo	1,10	2,10	2,00	2,50	0,86*
Quantidade					
Fosfato da Carolina do Norte	5,95	18,46	28,09	26,95	0,99*
Termofosfato Yoorin	5,95	19,26	29,51	34,24	0,99*
Fosfato de Arad	5,95	9,12	17,43	23,30	0,97*
Superfosfato triplo	5,95	19,15	21,02	25,75	0,95*
Centrosema					
Matéria seca					
Fosfato da Carolina do Norte	5,15	5,52	4,58	5,44	0,26 ^{ns}
Termofosfato Yoorin	5,15	5,95	4,21	4,63	0,28 ^{ns}
Fosfato de Arad	5,15	6,82	6,54	5,38	0,88*
Superfosfato triplo	5,15	5,90	6,57	5,73	0,97*
Concentração (teor)					
Fosfato da Carolina do Norte	2,70	1,10	1,50	1,70	0,71*
Termofosfato Yoorin	2,70	1,20	1,60	2,00	0,72*
Fosfato de Arad	2,70	1,70	2,00	1,80	0,67*
Superfosfato triplo	2,70	1,40	1,60	1,50	0,79*
Quantidade					
Fosfato da Carolina do Norte	13,90	6,07	6,87	9,25	0,85*
Termofosfato Yoorin	13,90	7,14	6,74	9,26	0,93*
Fosfato de Arad	13,90	11,59	13,08	9,68	0,72*
Superfosfato triplo	13,90	8,26	10,51	8,60	0,59*

* significativo a 5% de probabilidade.

^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

APÊNDICE - 6

Concentração (g kg⁻¹) e quantidade (mg vaso⁻¹) de P na matéria seca da parte aérea das plantas em respostas às épocas de corte (média de todas as doses e fontes de P).

Época	Alfafa					
	FCN		Yorin		Fosfato de Arad	
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	2,50a	11,35a	2,93a	17,42a	2,57a	10,96a
02	2,53a	14,09a	2,61a	24,17a	2,59a	16,10a
03	2,80a	16,68a	2,73a	23,91a	2,58a	16,38a
04	2,70a	20,68a	2,67a	26,00a	2,45a	17,81a
05	2,43a	12,60a	2,52a	14,54a	2,86a	13,32a
06	2,55a	13,80a	2,73a	11,10a	2,53a	9,85a
D.M.S.	0,54	9,47	1,12	18,58	0,75	12,26
C.V. (%)	7,56	23,22	14,86	32,71	10,52	30,69
	Centrosema					
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	2,03ab	20,87a	2,23a	32,91a	1,87a	21,72a
02	1,93ab	23,65a	2,17a	34,63a	1,63a	21,73a
03	1,73ab	18,94a	2,07a	27,20ab	1,70a	19,51ab
04	1,96ab	23,40a	2,17a	25,58ab	2,10a	24,60a
05	2,43ab	16,60a	2,43a	16,89ab	2,23a	16,04ab
06	2,50a	14,41a	2,43a	11,67b	2,27a	10,68b
D.M.S.	0,73	12,11	1,11	18,53	0,73	9,15
C.V. (%)	12,70	22,47	18,05	27,25	13,51	17,53

¹ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

APÊNDICE - 7

Concentração (g kg^{-1}) e quantidade (mg vaso^{-1}) de N presente na matéria seca da parte aérea das plantas em respostas às épocas de corte (média de todas as doses e fonets de P).

Época	Alfafa									
	FCN		Yoorin		Fosfato de Arad		SPT			
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	9,39c	31,61c	14,47c	69,38c	15,56c	56,55b	16,47d	48,28c		
02	16,87b	77,59cb	19,20c	147,59bc	17,42c	90,36b	22,75cd	135,04 b		
03	30,23a	149,17ab	29,33b	179,87b	26,33b	136,99ab	25,30bc	132,63b		
04	36,09a	235,98ab	43,35a	331,81a	37,61a	231,45a	40,76a	308,15a		
05	33,64a	147,89ab	27,53b	125,11bc	26,38b	116,94ab	26,17bc	111,34bc		
06	34,27a	146,20ab	29,41b	93,38bc	34,29ab	108,55ab	33,31ab	113,76bc		
D.M.S.	7,07	99,65	8,30	87,96	8,65	125,87	8,48	85,34		
C.V. (%)	11,76	38,59	13,56	35,74	14,63	38,90	13,73	34,44		
	Centrosena									
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	21,02c	193,46cd	23,86bc	303,12b	20,26c	202,12bc	20,86cd	236,27bc		
02	19,73c	218,93c	19,99c	276,96b	17,00c	193,05bc	16,76d	209,05bc		
03	32,12b	319,88b	31,88b	366,76b	28,69b	287,05ab	26,79bc	265,12b		
04	45,07a	477,50a	44,70a	474,52a	43,29a	473,82a	45,00a	487,25a		
05	30,69b	171,36cd	31,15b	177,45c	30,39b	178,43bc	30,18b	154,24cd		
06	19,28c	96,45d	18,04c	71,51d	18,52c	76,35c	18,07d	70,65d		
D.M.S.	9,11	98,50	9,12	98,09	7,00	204,45	8,62	84,79		
C.V. (%)	14,47	37,20	14,34	35,99	11,81	38,64	14,59	37,01		

¹ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

APÊNDICE - 8

Coefficiente de correlação entre os extratores utilizados com os teores de Ca presente no caule, folha e raiz e com as produções de matéria seca do caule, folha e raiz em função de todas épocas de corte na cultura da alfafa.

Fosfato natural da Carolina do Norte			
Teor	Extratores		
	Resina	KCl	Mehlich 3
Caule	0,09 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Folha	0,41 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Raiz ¹	0,93*	0,99*	0,90*
Total (caule + folha)	0,38 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,35 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,40 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,41 ^{ns}
Folha	0,38 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,44 ^{ns}
Raiz ¹	0,82*	0,98*	0,84*
Total (caule + folha)	0,39 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Termofosfato Yoorin			
Teor			
Caule	0,32 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,18 ^{ns}
Folha	0,44 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Raiz ¹	0,61 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,32 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,67*	0,72*	0,71*
Folha	0,69*	0,73*	0,70*
Raiz ¹	0,99*	0,99*	0,97*
Total (caule + folha)	0,69*	0,73*	0,71*
Fosfato natural de Arad			
Teor			
Caule	0,42 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Folha	0,25 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,27 ^{ns}
Raiz	0,71*	0,67*	0,56 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,38 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Matéria Seca			
Caule	0,24 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,26 ^{ns}
Folha	0,30 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,35 ^{ns}
Raiz ¹	0,99*	0,94*	0,98*
Total (caule + folha)	0,26 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Superfosfato triplo			
Teor			
Caule	0,43 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,44 ^{ns}
Folha	0,44 ^{ns}	0,55 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Raiz ¹	0,36 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,43 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,41 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,46
Matéria seca			
Caule	0,11 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,09 ^{ns}
Folha	0,13 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,04 ^{ns}
Raiz	0,50 ^{ns}	0,61 ^{ns}	0,46 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,12 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,07 ^{ns}

¹ avaliado somente no último corte; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

APÊNDICE - 9

Coefficiente de correlação entre os extratores utilizados com os teores de Ca contidos no caule, folha e raiz e com as produções de matéria seca do caule, folha e raiz em função de todas as épocas de corte na cultura da centrosema.

Fosfato da Carolina do Norte			
Teor	Extratores		
	Resina	KCl	Mehlich 3
Caule	0,66 ^{ns}	0,09 ^{ns}	0,16 ^{ns}
Folha	0,63 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Raiz ¹	0,98*	0,98*	0,97*
Total (caule + folha)	0,69*	0,24 ^{ns}	0,12 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,46 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,34 ^{ns}
Folha	0,35 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,60 ^{ns}
Raiz ¹	0,67 ^{ns}	0,73*	0,57 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,45 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,49 ^{ns}
Termofosfato Yoorin			
Teor			
Caule	0,68 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Folha	0,30 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,44 ^{ns}
Raiz ¹	0,74*	0,97*	0,55 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,59 ^{ns}	0,21 ^{ns}	0,35 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,57 ^{ns}	0,57 ^{ns}	0,44 ^{ns}
Folha	0,54 ^{ns}	0,59 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Raiz ¹	0,99*	0,98*	0,54 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,58 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,51 ^{ns}
Fosfato de Arad			
Teor			
Caule	0,69 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,15 ^{ns}
Folha	0,39 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,29 ^{ns}
Raiz ¹	0,91*	0,58 ^{ns}	0,52 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,61 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,21 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,50 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Folha	0,53 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Raiz ¹	0,98*	0,99*	0,96*
Total (caule + folha)	0,55 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Superfosfato triplo			
Teor			
Caule	0,40 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Folha	0,35 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Raiz ¹	0,82*	0,99*	0,99*
Total (caule + folha)	0,61 ^{ns}	0,08 ^{ns}	0,21 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,49 ^{ns}	0,48 ^{ns}	0,29 ^{ns}
Folha	0,36 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,13 ^{ns}
Raiz ¹	0,83*	0,86*	0,99*
Total (caule + folha)	0,45 ^{ns}	0,42 ^{ns}	0,22 ^{ns}

¹ avaliado somente no último corte; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

APÊNDICE - 10

Concentração (g kg^{-1}) e quantidade (mg vaso^{-1}) de Ca presente na matéria seca da parte aérea das plantas em respostas às épocas de corte (média de todas as doses e fontes de P).

Época	Alfafa							
	FCN		Yoorin		Fosfato de Arad		SPT	
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	17,01a	77,19a	16,29a	97,48ab	18,16a	64,18ab	17,23a	89,17a
02	12,41b	69,92a	13,36b	124,32a	11,83c	72,67ab	11,99b	83,74a
03	11,14b	65,88a	11,90b	91,22ab	11,29c	70,99ab	12,68b	83,05a
04	11,53b	88,34a	12,21b	116,94a	11,52c	82,08ab	10,34b	91,51a
05	12,35b	83,49a	13,37a	96,77ab	14,98b	101,50a	13,53b	97,85a
06	12,50b	66,73a	11,28b	45,30b	12,39c	47,50b	11,55b	49,91a
D.M.S.	3,02	45,23	2,89	64,42	2,59	41,11	3,91	57,10
C.V. (%)	8,18	21,92	7,66	24,68	7,08	20,49	10,38	25,22
	Centrosema							
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	17,01a	77,19a	16,29a	96,48ab	14,98a	64,18ab	17,23a	89,17a
02	12,41b	69,92a	13,36b	124,32a	11,83b	72,67ab	11,99b	83,74a
03	11,14b	65,88a	11,90b	91,23ab	11,29b	70,99ab	12,68b	83,05a
04	11,53b	88,34a	12,21b	116,94a	11,52b	82,08ab	12,68b	91,51a
05	12,35b	84,82a	12,47b	96,77ab	12,30b	101,50a	12,52b	97,85a
06	12,49b	66,73a	11,28b	45,30b	12,39b	47,50b	11,55b	49,90a
D.M.S.	3,02	44,56	2,89	64,42	2,59	41,11	3,91	57,10
C.V. (%)	8,18	21,53	7,66	24,68	7,08	20,49	10,38	25,23

¹ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

APÊNDICE - 11

Coefficientes de correlação entre os extratores utilizados com os teores de Mg contidos no caule, folha e raiz e com as produções de matéria seca do caule, folha e raiz em função de todas as épocas de corte na cultura da alfafa.

Fosfato da Carolina do Norte			
Teor	Extratores		
	Resina	KCl	Mehlich 3
Caule	0,39 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,55 ^{ns}
Folha	0,65 ^{ns}	0,56 ^{ns}	0,79*
Raiz ¹	0,70*	0,96*	0,33 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,64 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,78*
Matéria seca			
Caule	0,38 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,47 ^{ns}
Folha	0,39 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Raiz ¹	0,65 ^{ns}	0,92*	0,91*
Total (caule + folha)	0,39 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,45 ^{ns}
Termofosfato Yoorin			
Teor			
Caule	0,23 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,22 ^{ns}
Folha	0,43 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Raiz ¹	0,98*	0,98*	0,78*
Total (caule + folha)	0,37 ^{ns}	0,27 ^{ns}	0,24 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,58 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,58 ^{ns}
Folha	0,62 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,59 ^{ns}
Raiz ¹	0,53 ^{ns}	0,87*	0,79*
Total (caule + folha)	0,60 ^{ns}	0,51 ^{ns}	0,59 ^{ns}
Fosfato de Arad			
Teor			
Caule	0,20 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Folha	0,56 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,65 ^{ns}
Raiz ¹	0,55 ^{ns}	0,99*	0,99*
Total (caule + folha)	0,53 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,64 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,40 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,40 ^{ns}
Folha	0,43 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Raiz ¹	0,99*	0,94*	0,94*
Total (caule + folha)	0,42 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,39 ^{ns}
Superfosfato triplo			
Teor			
Caule	0,42 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,43 ^{ns}
Folha	0,59 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,48 ^{ns}
Raiz ¹	0,95*	0,95*	0,45 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,58 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,44 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,40 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,43 ^{ns}
Folha	0,43 ^{ns}	0,33 ^{ns}	0,50 ^{ns}
Raiz ¹	0,96*	0,99*	0,68 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,43 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,47 ^{ns}

¹ avaliado somente no último corte; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

APÊNDICE - 12

Coeficientes de correlação entre os extratores utilizados com os teores de Mg contidos no caule, folha e raiz e com as produções de matéria seca do caule, folha e raiz em função de todas as épocas de corte na cultura da centrosema.

Fosfato da Carolina do Norte			
Teor	Extratores		
	Resina	KCl	Mehlich 3
Caule	0,28 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Folha	0,12 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,61 ^{ns}
Raiz ¹	0,82*	0,85*	0,77*
Total (caule + folha)	0,60 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,38 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,12 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,31 ^{ns}
Folha	0,30 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,05 ^{ns}
Raiz ¹	0,58 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,61 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,21 ^{ns}	0,04 ^{ns}	0,19 ^{ns}
Termofosfato Yoorin			
Teor			
Caule	0,36 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,17 ^{ns}
Folha	0,63*	0,53 ^{ns}	0,61 ^{ns}
Raiz ¹	0,96*	0,78*	0,99*
Total (caule + folha)	0,58 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,47 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,47 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,42 ^{ns}
Folha	0,48 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,44 ^{ns}
Raiz ¹	0,83*	0,99*	0,72*
Total (caule + folha)	0,51 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,46 ^{ns}
Fosfato de Arad			
Teor			
Caule	0,25 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,08 ^{ns}
Folha	0,41 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,53 ^{ns}
Raiz ¹	0,94*	0,52 ^{ns}	0,23 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,41 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,32 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,34 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,27 ^{ns}
Folha	0,39 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,30 ^{ns}
Raiz ¹	0,55 ^{ns}	0,99*	0,27 ^{ns}
Total (caule + folha)	0,37 ^{ns}	0,37 ^{ns}	0,25 ^{ns}
Superfosfato triplo			
Teor			
Caule	0,50 ^{ns}	0,26 ^{ns}	0,24 ^{ns}
Folha	0,43 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,33 ^{ns}
Raiz ¹	0,32 ^{ns}	0,77*	0,92*
Total (caule + folha)	0,49 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,25 ^{ns}
Matéria seca			
Caule	0,12 ^{ns}	0,03 ^{ns}	0,30 ^{ns}
Folha	0,17 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,45 ^{ns}
Raiz ¹	0,99*	0,88*	0,73*
Total (caule + folha)	0,07 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,38 ^{ns}

¹ avaliado somente no último corte; * significativo a 5% de probabilidade; ^{ns} não significativo a 5% de probabilidade.

APÊNDICE - 13

Concentração (g kg^{-1}) e quantidade (mg vaso^{-1}) de Mg na parte aérea das plantas em respostas às épocas de corte (média de todas as doses e fontes de P).

Alfafa								
Época	FCN		Yoorin		Fosfato de Arad		SPT	
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	3,85a	17,36a	3,43a	20,22ab	3,48a	14,88a	3,89a	19,91a
02	2,59b	14,34a	2,68b	24,51a	2,64b	16,17a	3,04ab	24,95a
03	2,62b	15,51a	2,74b	20,58ab	2,40bc	15,18a	2,68b	17,41a
04	2,37b	18,06a	2,62b	25,04a	2,09c	14,81a	2,46b	21,88a
05	2,43b	15,53a	2,63b	15,26ab	2,26bc	10,93a	2,35b	12,36a
06	2,62b	14,07a	3,03ab	12,15b	2,75b	10,67a	2,93ab	12,67a
D.M.S.	0,42	7,83	0,60	11,73	0,54	8,02	0,98	11,51
C.V. (%)	5,61	18,65	7,65	21,79	7,53	21,24	12,37	23,94
Centrosema								
01	2,44a	25,07a	2,50a	36,96a	2,23a	25,85a	1,48c	19,49ab
02	2,14ab	26,30a	2,66a	41,81a	2,02a	26,26a	1,57c	22,39a
03	1,97b	21,82ab	2,14a	27,97abc	2,12a	24,05ab	2,18ab	24,82a
04	1,85b	21,73ab	2,13a	28,25ab	1,92a	23,81ab	1,80bc	21,34ab
05	2,21ab	15,05bc	2,38a	16,38bc	2,26a	16,19bc	2,36a	14,69bc
06	2,04b	11,72c	2,33a	11,07c	1,96a	9,19c	2,35a	10,47c
D.M.S.	0,37	8,55	0,68	17,14	0,34	8,32	0,42	7,30
C.V. (%)	6,40	15,37	10,46	23,08	5,99	15,18	7,80	14,10

¹ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

APÊNDICE - 14

Concentração (mg kg^{-1}) e quantidade ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) de Cu presente na matéria seca da parte aérea das plantas em respostas às épocas de corte (média de todas as doses e fontes de P).

Época	Alfafa							
	FCN		Yoorin		Fósforo de Arad		SPT	
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	11,77b	52,82b	11,96b	70,88cd	12,99b	55,30b	12,05b	62,27b
02	18,97a	105,97a	22,23a	202,66a	21,86a	135,70a	18,79a	126,72a
03	13,07b	77,21ab	14,34b	108,59bc	14,42b	91,80ab	14,16ab	92,58ab
04	13,95b	106,62a	14,05b	134,68b	14,90b	105,04ab	13,99b	123,27a
05	12,82b	66,29ab	12,64b	70,78cd	12,99b	74,17ab	11,62b	59,97b
06	12,76b	68,18ab	12,46b	47,71d	11,94b	45,77b	11,60b	48,84c
D.M.S.	2,75	51,72	4,01	58,26	3,55	65,81	4,70	42,83
C.V. (%)	7,22	23,72	10,00	20,06	8,73	28,36	12,08	17,80
	Centrosema							
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	8,45c	87,29c	9,69c	141,62b	9,12d	105,09b	8,67c	114,30b
02	14,83b	183,75ab	16,80b	264,85a	14,98c	194,88a	17,20b	246,12a
03	18,31b	202,47a	14,93bc	196,18ab	16,99bc	193,70a	17,06b	193,21a
04	18,26b	207,46a	16,44b	194,30ab	19,11bc	235,58a	18,08b	213,22a
05	20,34b	137,95bc	19,61ab	133,74b	20,32b	145,48b	17,77b	111,0b
06	27,69a	159,25bc	24,63a	114,03b	25,82a	121,63b	25,14a	112,18b
D.M.S.	5,82	64,20	5,54	96,23	4,57	47,67	3,10	54,87
C.V. (%)	11,81	14,36	11,88	20,15	9,41	10,47	6,53	12,13

¹ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

APÊNDICE - 15

Concentração (mg kg^{-1}) e quantidade ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) de Fe presente na matéria seca da parte aérea das plantas em respostas às épocas de corte (média de todas as doses e fontes de P).

Época	Alfafa					
	FCN		Yoorin		Fosfato de Arad	
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	110,17b	498,84b	115,72b	687,38bc	113,59b	486,16b
02	125,51b	681,13ab	119,84b	1089,34ab	121,68ab	768,35ab
03	119,18b	705,03ab	124,65b	926,73ab	119,89ab	749,15ab
04	119,18b	924,68a	133,06b	1265,02a	121,24ab	868,08a
05	178,60a	917,48a	174,02a	962,57ab	154,94a	875,78a
06	116,45b	621,79ab	104,11b	418,69c	130,43ab	506,70ab
D.M.S.	43,37	326,99	34,55	493,78	40,14	379,04
C.V. (%)	12,30	16,45	9,80	20,24	11,53	25,87
	Centrosema					
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	131,46a	1375,83bc	143,09ab	2088,82ab	137,91a	1605,61ab
02	180,55a	2210,26a	194,40a	3065,38a	158,77a	2064,01a
03	170,27a	1874,67ab	122,79b	1615,53bc	132,37a	1503,64b
04	149,96a	1650,34ab	147,22ab	1742,79bc	154,04a	1895,72ab
05	161,46a	1087,25bc	130,80b	901,05c	136,80a	980,02c
06	122,48a	704,73c	166,69ab	778,21c	143,22a	671,70c
D.M.S.	59,65	645,88	59,70	1093,90	33,98	515,84
C.V. (%)	14,36	16,33	14,43	23,48	8,61	13,14

¹ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

APÊNDICE - 16

Concentração (mg kg⁻¹) e quantidade (µg vaso⁻¹) de Mn presente na matéria seca da parte aérea das plantas em respostas às épocas de corte (média de todas as doses e fontes de P).

Época	Alfafa					
	PCN		Yoorin		Fosfato de Arad	
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	165,55a	746,67a	122,32a	720,15ab	156,13a	669,20a
02	89,24b	494,96bc	84,70b	767,39a	92,21b	575,44ab
03	100,76b	591,18ab	85,23b	645,80ab	102,65b	644,04a
04	44,81c	342,03cd	53,88c	509,06bc	47,76c	331,43bc
05	46,91c	242,37d	50,72c	283,81cd	52,33c	298,82bc
06	45,55c	242,98d	50,96c	202,90d	52,96c	202,49c
D.M.S.	19,06	234,23	19,68	231,01	25,54	296,48
C.V. (%)	8,46	19,26	9,62	16,15	11,09	23,84
	Centrosema					
	PCN		Yoorin		Fosfato de Arad	
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	275,83a	2827,20a	194,67a	2743,92ab	281,17a	3244,80a
02	221,00ab	2718,57a	207,67a	3237,57a	255,67a	3329,40a
03	238,67ab	2632,98a	228,83a	3100,69ab	197,33b	2241,66bc
04	190,17bc	2207,87ab	243,00a	2874,19b	232,00ab	2860,22ab
05	215,67abc	1449,92bc	201,67a	1365,31c	205,33b	1476,30cd
06	150,33c	863,67c	150,67a	684,05c	197,50b	919,93d
D.M.S.	69,92	773,34	100,44	680,81	75,68	844,47
C.V. (%)	11,84	13,57	17,92	11,31	12,09	13,13

¹ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

APÊNDICE 17

Concentração (mg kg^{-1}) e quantidade ($\mu\text{g vaso}^{-1}$) de Zn presente na matéria seca da parte aérea das plantas em respostas às épocas de corte (média de todas as doses e fontes de P).

Época	Alfafa									
	FCN		Voorin		Fosfato de Arad		SPT			
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	40,84a	184,21c	34,98b	205,45b	43,88a	187,67b	40,04c	205,41b		
02	40,73a	219,33bc	32,58b	295,99ab	42,80a	267,22ab	39,17c	269,83ab		
03	45,33a	264,17abc	42,64ab	322,51ab	46,98a	295,97ab	45,09bc	298,05ab		
04	43,28a	327,95a	40,51b	386,89a	52,04a	348,99a	47,03bc	416,61a		
05	46,78a	240,04abc	43,63ab	239,98ab	47,61a	260,56ab	55,49ab	286,18ab		
06	51,68a	277,02ab	57,93a	222,51b	57,37a	222,04ab	66,58a	283,82ab		
D.M.S.	14,81	91,11	16,53	157,29	23,45	135,56	15,06	181,82		
C.V. (%)	12,07	13,18	14,34	20,57	17,67	18,74	11,23	22,60		
	Centrosema									
	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade	Teor	Quantidade
01	46,32a	477,80ab	35,43a	507,85ab	45,71b	524,77bc	44,95b	591,35a		
02	44,91a	548,62ab	35,47a	555,57a	45,10b	585,80ab	42,64b	608,12a		
03	51,65a	570,26a	43,59a	572,66a	49,82ab	567,59ab	52,13ab	593,04a		
04	47,76a	544,44ab	43,88a	516,46a	58,70ab	726,57a	54,76ab	643,76a		
05	62,43a	416,70ab	46,10a	314,89bc	54,93ab	392,24cd	50,11ab	313,57b		
06	63,07a	362,77b	53,41a	242,74c	63,91a	301,30d	61,33a	273,81b		
D.M.S.	26,11	199,79	19,13	198,16	15,55	169,79	12,65	187,36		
C.V. (%)	18,07	14,97	16,23	15,99	10,69	11,99	9,05	13,56		

¹ Médias seguidas por letras distintas diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.