**NÍVEIS DE CALCÁRIO E DE POTÁSSIO EM UM LATOSSOLO
VERMELHO-AMARELO PARA QUATRO CULTIVARES DE ALFAFA**

MÔNICA SUTTON

Zootecnista

Orientador: Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

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

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Dezembro - 1993

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCLQ/USP

Sutton, Mônica
S965n Níveis de cálcio e de potássio em um latossolo
vermelho-amarelo para quatro cultivares de alfafa.
Piracicaba, 1993.
123p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Alfafa - Nutrição 2. Calagem 3. Potássio em
Alfafa 4. Solo - Acidez I. Escola Superior de Agri-
cultura, Luiz de Queiróz, Piracicaba

CDD 633.61

NÍVEIS DE CALCÁRIO E DE POTÁSSIO EM UM LATOSSOLO
VERMELHO-AMARELO PARA QUATRO CULTIVARES DE ALFAFA

MONICA SUTTON

Aprovada em : 04.02.94

Comissão julgadora:

Prof. Dr. Francisco Antonio Monteiro	ESALQ/USP
Dr. Herbert Barbosa de Mattos	IZ/SAA
Prof. Dr. Quirino A. de Camargo Carmello	ESALQ/USP

Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

Orientador

Aos meus pais, por terem dado tudo de si no decorrer da
minha vida, contribuindo efetivamente em minha
evolução

Ofereço

À minha irmã, pela eterna
amizade

À meus afilhados,
Manuela e Daniel,
mensageiros do céu

Dedico

AGRADECIMENTOS

São apresentados os sinceros agradecimentos às seguintes pessoas e instituições:

Ao Prof. Dr. Francisco Antonio Monteiro, pela orientação, disposição e amizade dedicados à nossa pessoa.

Ao Prof. Dr. Raul Machado Neto, pela compreensão e afeto que sempre nos distinguiu.

Aos docentes da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, pelos cursos oferecidos.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq), pela concessão de bolsa de estudo.

Ao Jockey Club de São Paulo, pelo financiamento da pesquisa, demonstrando interesse pela ciência.

Ao Dr. Luiz Alberto Marinho, pelo apoio e confiança indispensáveis em nosso trabalho.

Aos fiéis amigos Marco Antonio, Fabíola, Laranja, Carlos Eduardo, Valéria e Soraia pela compreensão dedicada nos momentos mais difíceis.

Aos laboratoristas, Fernando Éder Ré, Nivanda Maria de Moura, Mirtes Ventura Sesso, Lurdes Ap. Dário de González, Edinéia Cristina S. Mondoni e Lúcia H. S. Pavan Forti, pela colaboração na execução de análises químicas de solo e de plantas.

À Patrícia Pessini pela dedicação indispensável na parte experimental do nosso trabalho.

À bibliotecária Kátia M. de Andrade Ferraz, pela ajuda na citação de literatura e pela doçura dispensada à todos.

Em especial ao Zago, pelo companheirismo, carinho e paciência indispensáveis para conclusão deste trabalho.

E a todos que, de alguma forma, contribuíram à realização do presente trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	vii
SUMMARY	ix
 1. INTRODUÇÃO	 01
2. REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1. Cultivares de alfafa	05
2.2. Acidez do solo e sua correção para alfafa	09
2.3. Potássio e a nutrição da alfafa	17
3. MATERIAL E MÉTODOS	31
3.1. Forrageira	31
3.2. Solo	31
3.3. Delineamento experimental	32
3.4. Calagem e incubação da terra	32
3.5. Plantio e condução do experimento	33
3.6. Análises químicas das plantas	35
3.7. Amostragem do solo	37
3.8. Análises químicas do solo	37
3.9. Análises estatísticas	39
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1. Efeitos de calcário e potássio no solo	40
4.2. Efeitos na planta	55
4.2.1. Produção de matéria seca e nitrogênio na planta	55
4.2.2. Teores de macro e micronutrientes na planta ..	75
5. CONCLUSÕES	107
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

NÍVEIS DE CALCÁRIO E DE POTÁSSIO EM UM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO PARA QUATRO CULTIVARES DE ALFAFA

Autor: MÔNICA SUTTON

Orientador: PROF. DR. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de estudar a influência de níveis de calcário e de adubação potássica na produção de matéria seca, na quantidade total de nitrogênio e na composição mineral de quatro cultivares de alfafa (*Medicago sativa* L.).

O experimento foi conduzido em vasos, em casa de vegetação situada na Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", em Piracicaba, Estado de São Paulo. Utilizou-se um solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo fase argilosa. Foram testados em um esquema fatorial 4 x 3 x 4, quatro níveis de calcário (0; 950; 1900 e 2850 quilogramas de calcário dolomítico por hectare), três níveis de adubação potássica (0; 100 e 300 quilogramas de potássio por hectare) e quatro cultivares de alfafa (Crioula, Moapa, Florida 77 e CUF 101). Os quarenta e oito tratamentos foram dispostos em blocos ao acaso, com quatro repetições.

A aplicação do calcário dolomítico foi realizada quarenta e oito dias antes do plantio da alfafa, enquanto o potássio foi aplicado na forma de solução três dias após o plantio. Realizou-se uma adubação básica, em todos os vasos, com fósforo, enxofre, boro, cobre, molibdênio e zinco.

Setenta dias após o plantio, efetuou-se o primeiro corte enquanto o segundo corte foi realizado entre cento e quatro e cento e onze dias após o plantio.

Os cultivares de maior produção de matéria seca no primeiro corte foram Florida 77 e CUF 101, os quais se igualaram aos cultivares Crioula e Moapa no segundo corte. O cultivar Florida 77 teve menor produção de matéria seca de raízes que os demais cultivares.

Alterações consideráveis nas concentrações de macro e micronutrientes na alfafa foram verificadas, em função das aplicações de calcário dolomítico e de cloreto de potássio.

As máximas produções de matéria seca e quantidades totais de nitrogênio, foram atingidas com os níveis de calcário dolomítico entre 2200 e 2750 kg/ha, correspondendo a uma saturação por bases de 54 e 67,5%. Para o potássio esses pontos de máximo estiveram entre 100 e 185 kg K/ha.

Sintomas visuais de deficiência de potássio foram observados na alfafa desenvolvida nos tratamentos que não receberam esse nutriente na adubação.

LIME AND POTASSIUM RATES IN A RED YELLOW LATOSOL FOR ALFALFA FOUR CULTIVARS

Author: MÓNICA SUTTON

Adviser: PROF. DR. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

SUMMARY

This study was undertaken to determine the effects of lime and potassium fertilization rates in the dry matter yield, in the total amount of nitrogen and in the mineral composition of four cultivars of alfalfa (*Medicago sativa* L.).

The experiment was carried out in a greenhouse located at the Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", in Piracicaba, State of São Paulo. A clay Red Yellow Latosol was placed in the plastic pots. A 4 x 3 x 4 factorial was used. Four lime rates (0; 950; 1900 and 2850 kg dolomitic limestone/ha), three potassium fertilizer rates (0; 100 and 300 kg K/ha) and four alfalfa cultivars (Crioula, Moapa, Florida 77 and CUF 101) were studied. The forty-eight treatments were set in a randomized complete block design, with four replications.

Liming was done forty-eight days before sowing whereas potassium chloride was applied as water solution

three days after legume sowing. A basic fertilization with phosphorus, sulphur, boron, copper, molybdenum and zinc was performed.

Plants were cut seventy days after sowing and allowed to regrow. A second harvest was done at 104 to 111 days after sowing and allowed to regrow.

Florida 77 and CUF 101 cultivars had the highest dry matter herbage yield at the first harvest, but all the cultivars had similar yields at the second harvest. Florida 77 cultivar showed the lowest root dry matter.

Changes in nutrient concentration in the plant tissue, as a result of lime and potassium applications, were evident.

Maximum forage yield and total amount of nitrogen were attained with dolomitic limestone rate between 2200 and 2750 kg/ha, which corresponded to soil basis saturation between 54 and 67,5%. For potassium these maximum were reached between 100 and 185 kg K/ha.

Visual symptoms of potassium deficiency were observed in plants grown in the treatments that did not receive potassium fertilization.

1. INTRODUÇÃO

O estabelecimento e a manutenção de plantas forrageiras em pastagens depende em grande parte da fertilidade do solo. A baixa fertilidade dos solos destinados à exploração agropecuária é um dos motivos da baixa produtividade das pastagens na maior parte do território brasileiro.

A alfafa (*Medicago sativa* L.), que é uma leguminosa forrageira rica em proteínas, sais minerais, vitaminas, energia bruta, além de conter cálcio, fósforo, betacaroteno e outros elementos importantes para a nutrição animal, tem sido amplamente cultivada nas mais variadas partes do mundo. Originária do Oriente Médio, é uma planta forrageira que conquistou os cinco continentes, e hoje já ultrapassa os 30 milhões de hectares cultivados (MICHAUD et al., 1988).

O centro geográfico de origem frequentemente mencionado para a alfafa é o Irã (BOLTON et al., 1972).

Essa leguminosa forrageira entrou no Brasil no século passado pelo Rio Grande do Sul, através da imigração européia. Sofreu ao longo dos anos processos de adaptação à

condições climáticas e edáficas do sul do Brasil. Surgiu então, pelo processo de seleção natural, uma população de plantas com uma identidade genética bastante estreita, que com o passar do tempo recebeu o nome de Crioula.

Naturalmente, um incremento nas produções das plantas deve-se à alguns fatores como: cultivares e/ou manejo da cultura; pragas e doenças; irrigação e o programa de fertilização. A obtenção de altas produtividades de alfafa conduz à remoção de elevadas quantidades de nutrientes, se comparadas com as culturas produtoras de grãos.

A busca de espécies e/ou cultivares, em função dos problemas de diferentes sistemas de produção, justifica a introdução de material genético previamente conhecido e já consagrado em outras regiões.

Em se tratando de uma leguminosa forrageira de grande importância justifica-se a tentativa de introduzi-la em regiões com solos ácidos de baixa fertilidade. Porém, nessas condições, pela ocorrência de excessos de alumínio e manganês na solução do solo e pela baixa disponibilidade de nutrientes minerais, tornam-se indispensáveis a correção da acidez do solo e a aplicação de fertilizantes para a obtenção de sucesso no seu estabelecimento. Um dos fatores de produção, limitante ao desenvolvimento da alfafa é, sem dúvida, a ausência de um programa de adubação compatível com suas necessidades e as características edáficas regionais.

O objetivo do presente trabalho foi estudar o

efeito de aplicações de calcário e potássio, sobre as características químicas do solo, sobre a produção de matéria seca e a composição mineral de quatro cultivares da alfafa (Crioula; Moapa; Florida 77 e CUF 101) em um latossolo vermelho-amarelo do Município de Campinas.

2. REVISÃO DE LITERATURA

As exigências de uma determinada espécie forrageira, quanto às qualidades do ambiente, devem ser consideradas na seleção da espécie para o local a que se destina. As condições requeridas para o crescimento de uma espécie podem ser impróprias para outra (SIQUEIRA, 1987).

Pesquisas envolvendo a adubação da alfafa são escassas no Brasil, concentrando-se no Rio Grande do Sul, o que possivelmente contribuiu para a definição das recomendações atuais de adubação para essa forrageira naquele Estado (SIQUEIRA, 1987).

Geograficamente, a cultura da alfafa localiza-se no Sul do Brasil, particularmente na região do Norte do Paraná e parte do Rio Grande do Sul. O não cultivo em maior escala talvez se deva ao manejo inadequado do solo. O crescente interesse por sua utilização demanda cultivares adaptados às condições climáticas e às características do solo dessa região (HONDA & HONDA, 1990).

Pode-se considerar, que o fator solo é de fundamental importância no que diz respeito à produtividade e longevidade da cultura. O solo poderá ser alterado em suas

propriedades químicas e físicas, através de tratamentos culturais, tais como calagem, adubação química e orgânica, sendo que a intensidade dessas práticas será função da fertilidade própria do solo, que poderá ser determinadas em princípio, pela análise do solo (HONDA & HONDA, 1990).

O solo é um dos componentes de um ecossistema agrícola que podem ser modificados mais facilmente pelo homem. Nos trópicos úmidos, há uma predominância de solos ácidos, e como a correção da acidez dos solos é feita através da calagem, lembra-se de imediato que ela é necessária para se obter boa produtividade das forrageiras. A necessidade de calagem vai depender da interação do solo com a espécie forrageira.

O desenvolvimento inadequado da alfafa em solos ácidos tem sido motivo de muitas investigações. Assim, nesta revisão de literatura serão enfocados aspectos relacionados à competição entre cultivares, aos fatores limitantes da produção da alfafa em solos ácidos, bem como a influência do calcário e da adubação potássica sobre a produção dessa forrageira.

2.1. Cultivares de alfafa

O Estado do Rio Grande do Sul possui uma população naturalmente selecionada de alfafa Crioula, que tem demonstrado uma série de vantagens e que já provou em muitos

experimentos ser superior aos outros cultivares, (SAIBRO et al., 1972; BASSOLS & PAIM, 1978; MEDEIROS & ZAMBRA, 1987).

A importância que tem essa cultura ao nível mundial e principalmente a grande variabilidade que apresenta, permite adaptar-se às mais diversas regiões. Toda essa variabilidade encontra-se em algumas espécies de interesse agrícola (DEL POZO, 1971), o que significa um grande número de cultivares e populações adaptadas e selecionadas a cada situação.

Durante séculos, a alfafa sofreu adaptações à novos ambientes, acompanhando a imigração dos homens em diferentes zonas climáticas pelo mundo, havendo dificuldades no estabelecimento dos estandes, nas variadas condições climáticas (HANSON, 1972).

Segundo SAIBRO (1985), nas últimas décadas foram desenvolvidos vários esforços integrados de instituições públicas e privadas, intensificando a pesquisa com a alfafa, principalmente, fora da região tradicional de cultivo da espécie. Assim, vários trabalhos de avaliação de cultivares foram realizados não só no Rio Grande do Sul, mas em outros Estados, como São Paulo e Ceará.

Num trabalho de competição entre onze cultivares de alfafa oriundos dos Estados Unidos, ARAUJO FILHO et al. (1971) obtiveram para o cultivar Sonora rendimento médio anual de 32,15 toneladas de matéria seca por hectare. Também destacaram-se os cultivares Moapa, African,

AZSW 17 e Indian que tiveram rendimentos médios anuais de 31,0; 30,9; 30,4 e 30,3 t/ha, respectivamente.

BASSOLS & PAIM (1978) conduziram um estudo comparativo entre seis cultivares de alfafa introduzidos no Rio Grande do Sul, com o objetivo de comparar com o cultivar Crioula. Foram analisadas as produções de matéria seca e de proteína bruta, a relação caule/folha e as alturas médias dos cultivares cortados em dois estágios de crescimento (pré-crescimento e 50% de floração). Verificaram que o cultivar Crioula sobrepujou os demais na produção de matéria seca e de proteína bruta. Esse resultado concorda com o obtido por SAIBRO et al. (1972), onde também o cultivar Crioula foi superior em produção de matéria seca aos demais cultivares testados.

Segundo SAIBRO (1985), a identificação de cultivares de alfafa adaptados e produtivos, para utilização nos solos ácidos corrigidos em seus aspectos de fertilidade, foi inicialmente, uma das preocupações de vários pesquisadores do Rio Grande do Sul. Em 1965 foram estabelecidos os primeiros estudos comparativos de cultivares de alfafa. A alfafa cultivar Crioula, apresentou rendimento de matéria seca superior em relação aos outros treze cultivares introduzidos em Guaíba e Montenegro.

Trabalhando com vinte e seis cultivares de alfafa, OLIVEIRA (1986) constatou que o cultivar Florida 77 destacou-se em produtividade, não diferenciando

significativamente do CUF 101 e Moapa. No que se refere à sobrevivência, observou que os cultivares Florida 77, CUF 101 e Moapa apresentaram alta porcentagem de cobertura do solo no final do experimento. Também concluiu que os cultivares Florida 77, CUF 101 e Crioula são equivalentes em qualidade nutricional.

No Estado de São Paulo, nos anos de 1984 e 1985, OLIVEIRA & CORSI (1987), avaliaram a produção e a qualidade da forragem de vinte e seis cultivares de alfafa, entre elas, o cultivar Crioula. Obtiveram, num total de oito cortes, a produtividade média de matéria seca em todos os cultivares de 17,3 t/ha, onde destacou-se o cultivar Florida 77, porém não diferindo significativamente dos dezesseis de maior produtividade. O cultivar Crioula ficou em décimo-nono na ordem de rendimento, com uma produção média em oito cortes de 13,6 t/ha. Para o teor de proteína bruta da matéria seca, não houve diferenças entre os cultivares Florida 77, CUF 101, Moapa e Crioula, e a média foi de 20,6% de proteína bruta na matéria seca.

MEDEIROS & ZAMBRA (1987) em Augusto Pestana, na região das Missões (RS), conduziram no período de 1977 a 1981, um trabalho de avaliação do potencial de produção de dezesseis cultivares de alfafa comparados com alfafa Crioula. Os resultados obtidos mostraram a superioridade do cultivar Crioula sobre os demais.

2.2. Acidez do solo e sua correção para alfafa

Dentre as respostas de diversas espécies normalmente cultivadas na região sul dos Estados Unidos, ADAMS & PEARSON (1967) concluíram que a alfafa é a mais responsiva à calagem.

As respostas das culturas à calagem, dependem de fatores ligados à planta, ao solo e ao corretivo empregado, de tal modo que, quando esses fatores são corretamente considerados, obtém-se a máxima eficiência com essa prática agrícola. Segundo QUAGGIO (1985), vários métodos de laboratório têm sido empregados para determinar a necessidade de calagem em solos no País, entre os quais estão o critério baseado no teor de alumínio trocável, no método do tampão SMP e no método baseado na elevação da saturação por bases do solo.

A determinação da necessidade de calagem para a elevação da saturação por bases foi introduzida no laboratório de rotina do Instituto Agronômico de Campinas, em 1983. Desde então vem sendo utilizada no Estado de São Paulo, com a vantagem principal estando na facilidade dos cálculos e na flexibilidade de adaptação para diferentes culturas, de acordo com as exigências destas.

FREITAS & PRATT (1969), estudando as respostas de três leguminosas, entre as quais estava a alfafa, à aplicação de calcário em diversos solos ácidos, obtiveram as

maiores médias de produção de matéria seca de siratro (*Macroptilium atropurpureum* D.C. cv. Siratro), em todos os solos, em pH 6,1 e os de *Stylosanthes* em pH 6,4. Com a alfafa obtiveram resposta ao calcário na faixa de pH 4,5 a 6,0. Concordando com ADAMS & PEARSON (1967), referiram-se aqueles autores a outros experimentos reportados na literatura com resposta da alfafa ao calcário desde pH 5,5 até 6,5.

ROBSON & LONERAGAN (1970) estudaram o efeito do pH e da concentração de cálcio da solução do solo, através do crescimento e da absorção e distribuição de manganês em duas espécies anuais de *Medicago* comparadas com *Trifolium subterraneum* L. Os resultados do experimento indicaram que ambas as espécies anuais de *Medicago* foram mais sensíveis à toxidez de manganês do que a de *Trifolium*. Essa maior sensibilidade pareceu estar relacionada à maior taxa de absorção e maior transporte de manganês das raízes para a parte aérea da planta, em condições de suprimento de luxo. Os autores sugeriram ainda, que a maior sensibilidade da *Medicago* à toxidez de manganês deveria estar associada à baixa tolerância ao encharcamento. Quanto ao cálcio, ficou confirmado que seu acréscimo aliviou a toxidez de manganês, sendo possível que os efeitos de cálcio e pH na absorção e distribuição de manganês se confundiram com os efeitos da adsorção propriamente do que a absorção desse micronutriente. A magnitude do efeito do cálcio e do pH na absorção de

manganês e na sua distribuição foi diferente para as diferentes espécies.

KORNELIUS (1972) estudou a influência da calagem e das adubações fosfatada e potássica na produção de matéria seca da alfafa em seis solos do Rio Grande do Sul. Concluiu que a aplicação de calcário e de fósforo aumentaram significativamente ($P < 0,01$) a produção de matéria seca nos seis solos testados, enquanto que o potássio aumentou a produção de matéria seca da forragem apenas no Oxissolo Erexim.

Estudando o comportamento da alfafa cultivada em casa de vegetação, em seis tipos de solos ácidos, STAMMEL & KORNELIUS (1973) concluíram que na ausência de calcário, o cloreto de potássio causou redução no pH e aumento no teor de manganês trocável dos seis solos, aumentando a absorção desse micronutriente pela alfafa. Sem calcário, a aplicação de 400 mg K_2O/kg determinou aumentos de 22 a 103% no teor de manganês trocável do solo, enquanto que no tecido da alfafa aumentou de 19 a 68% dependendo do tipo de solo. A aplicação do calcário eliminou os efeitos negativos do cloreto de potássio, o que é um aspecto positivo, há necessidade de praticar a adubação potássica juntamente com a calagem.

MCLEAN & CARBONELL (1972) estudaram em casa de vegetação, as produções de matéria seca de *Setaria italica* e *Medicago sativa*, utilizando cinco níveis de saturação de Ca - Mg e dois níveis de potássio. A produção de alfafa não foi

afetada pela ordem de saturação de Ca - Mg (Mg 5% - Ca 75% e Mg 25% - Ca 55%). Entretanto, ocorreu resposta ao magnésio com o acréscimo inicial de magnésio e de cálcio de 3 e 18% para 5 e 75%, respectivamente, e concomitantemente, o pH (H₂O) passou de 5,4 para 6,8. Concluíram que o conteúdo de magnésio no tecido das plantas aumentou quando houve acréscimo na saturação de magnésio, porém o acréscimo de potássio no solo diminuiu o teor de magnésio contido nos tecidos. Ressaltaram os autores, a título de precaução, que a aplicação de potássio pode ser em doses baixas, porém, com maior frequência, de tal forma que o conteúdo de magnésio na forragem se estabilize.

JOHN et al. (1972) utilizaram sete solos para estudos com alfafa e verificaram que cinco deles propiciaram incrementos significativos ($P < 0,05$) na produção de matéria seca da alfafa quando receberam calcário para atingir saturação por bases de 70%, enquanto que, os outros dois solos responderam até a dose calculada para alcançar 100%. Isso sugere que a elevação do pH para a neutralização do alumínio geralmente será suficiente para a maximização da produção de matéria seca da alfafa.

JONES & FREITAS (1970) estudaram respostas de quatro leguminosas tropicais à aplicações de fósforo, potássio e calcário num latossolo vermelho-amarelo de campo cerrado. Encontraram resposta no aumento de produção de matéria seca das leguminosas *Stylosanthes gracilis*,

Centrosema pubescens, *Neonotonia wightii* e *Macroptilium atropurpureum*, desde 250 kg de Ca/ha até 1000 kg de Ca/ha. Doses mais elevadas de calcário resultaram em decréscimo de produção de matéria seca. Foram bem distintas as curvas de respostas das quatro leguminosas à aplicação de calcário, indicando para cada uma das espécies estudadas uma diferente necessidade de calcário. As respostas dessas leguminosas tropicais ao potássio não foram estatisticamente significativas ($P > 0,05$). O efeito da aplicação de doses de cálcio e magnésio sobre o teor de potássio das plantas diminuiu com a aplicação de cálcio e magnésio até cerca de 250 kg de Ca/ha; aplicações de calcário acima desse nível pouco afetaram os níveis de potássio, porém aplicações de 1.000 e 2.000 kg Ca/ha voltaram a elevar os teores de potássio na planta.

Experimentos conduzidos por FREITAS & PRATT (1969), em casa de vegetação avaliaram as respostas de *Medicago sativa*, *Macroptilium atropurpureum* e *Stylosanthes gracilis* à aplicação de calcário em oito solos do Estado de São Paulo, sendo quatro latossolos e quatro podzólicos vermelho-amarelos. As respostas da alfafa ao calcário, em produção de matéria seca, foram significativas ($P < 0,05$) em todos os solos. As produções máximas de matéria seca foram obtidas em todos os solos no pH 6,4 ou acima, mas os maiores acréscimos de produção foram observados quando o pH foi elevado de 4,5 para 6,0. Os resultados, segundo os autores,

sugeriram que aplicações de calcário para obtenção de valores de pH acima de 6,0 seriam de pouca valia no caso da alfafa para a maioria desses solos. No caso de *Stylosanthes* a maior produção média correspondeu ao pH de 6,4 e para *Macroptilium* ao pH 6,1 verificando-se um ligeiro decréscimo de produção quando o pH passou para 6,2. Os autores recomendaram a aplicação de calcário para se quiser obter resultados satisfatórios com as três leguminosas nos vários tipos de solos.

Em três solos do Rio Grande do Sul (Erexim, Passo Fundo e Santo Ângelo), o emprego do potássio mesmo na presença do fósforo, inibiu o crescimento da alfafa, segundo KORNELIUS (1972). Esse acentuado efeito depressivo sobre a produção de matéria seca desapareceu com o emprego do primeiro nível de calcário. A aplicação de potássio com calcário proporcionou, em geral, uma grande resposta na produção de alfafa, concordando com os dados de YORK Jr. et al. (1954a); JACKSON et al. (1966) e SILVA & STAMMEL (1969). A falta de resposta ou os efeitos depressivos da adição de KCl ao solo sem calcário, está ligada a um aumento na disponibilidade de manganês no solo e a uma maior absorção desse micronutriente pelas plantas (KORNELIUS, 1972).

KORNELIUS (1972) estudando alfafa, concluiu que o pH foi decisivo para a produção de alfafa, a qual atingiu produções máximas de matéria seca entre pH 6,3 e 7,8, ressaltando que a elevação do pH acima de 6,5 causou

deficiência de micronutrientes nas plantas.

O trabalho de CRUZ & STAMMEL (1978) teve por objetivo avaliar o efeito residual da calagem em solos com diferentes teores de alumínio trocável e de diferentes classes texturais, através de modificações em algumas propriedades químicas e rendimentos de culturas. Os solos utilizados foram Vacaria (argila pesada), São Jerônimo (franco argilo - arenoso) e Tupanciretã (areia franca). Decorridos 80 meses, os autores encontraram efeito residual da calagem avaliado através de análises químicas do solo e rendimentos das culturas, concluindo que corrigida a acidez, o potencial produtivo da alfafa nesses solos está relacionado com as distintas classes texturais.

SANZONOWICZ & VARGAS (1980) estudaram o efeito de níveis de calcário e potássio na produção e composição química do *Stylosanthes guianensis* em um latossolo vermelho-escuro do cerrado. Efetuados três cortes, obtiveram uma produção máxima de matéria seca com 270 kg K/ha e 4,5 t de calcário/ha, o que elevou o pH de 4,6 a 5,7. A adição de calcário resultou em aumentos nos teores de nitrogênio, fósforo, cálcio, porém resultou em redução nos teores de potássio e magnésio e na quantidade total de magnésio nas plantas. O potássio teve efeito positivo na produção de matéria seca, no teor de potássio e na quantidade extraída de nitrogênio, fósforo e potássio porém provocou redução nos teores de nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio no tecido

das plantas, concordando com os resultados obtidos por JONES & FREITAS (1970).

Sendo a alfafa uma cultura que requer concentrações relativamente elevadas da maioria dos elementos minerais, os níveis desses nutrientes no solo devem corresponder à um suprimento compatível com as necessidades dessa planta (LEACH & CLEMENTS, 1985).

RANDO (1992), pesquisando o desenvolvimento da alfafa em níveis de pH, de potássio e de enxofre no solo, constatou que o desenvolvimento da alfafa foi significativamente ($P > 0,01$) reduzido, em solo com elevada acidez, com reflexos intensos sobre o rendimento de matéria seca, independente da adição de potássio e enxofre. Somente quando se eliminou a acidez foi possível constatar os benefícios da adição de potássio e enxofre, os quais aumentaram a altura das plantas, o número de perfilhos, o diâmetro e o peso das raízes, bem como a produção de matéria seca da parte aérea.

Os resultados observados em todos os trabalhos revisados, comprovam que existem diferenças marcantes entre culturas em relação à acidez do solo e resposta à calagem. Além disso, demostram a necessidade de se adotar métodos de recomendação de calagem, que sejam flexíveis a fim de permitir o cálculo da dose de calcário, de acordo com a exigência e a resposta da cultura à calagem.

Pode-se verificar, ainda, que são escassos os

trabalhos utilizando o método de saturação por bases para o cálculo da necessidade de calagem para alfafa.

2.3. Potássio e a nutrição da alfafa

Existem alguns fatores que influenciam a disponibilidade de potássio para as plantas como: quantidade e tipos de minerais de argila, lixiviação, estrutura do solo, conteúdo de água, temperatura, pH do solo e calagem. A prática da calagem e a consequente redução das toxicidades de alumínio e manganês, afeta a disponibilidade de potássio no solo.

O conhecimento dos efeitos de outros íons na nutrição potássica é importante, não só para se maximizar a eficiência do uso de potássio, mas também para se saber como os níveis de outros íons vão alterar as recomendações feitas aos agricultores, sobre o emprego do adubo potássico.

YORK Jr. et al. (1954a) determinaram se a interação de cálcio - potássio na planta é devida à um antagonismo fisiológico entre os íons ou à interação cálcio - potássio seria induzida no solo. Tiveram evidências de que a calagem influencia a concentração de potássio nas trocas do solo. Solos calcários possuem alta capacidade em fixar o potássio aplicado na forma não-trocável (ALLAWAY & PIERRE, 1939; BLUME & PURVIS, 1939; ATTOE, 1946; YORK Jr. & ROGERS, 1947). Os resultados demonstraram que aproximadamente 34% do

potássio aplicado foi fixado até o maior nível de calagem. Apontando que, quanto mais potássio adicionado ao complexo de troca, maior a porcentagem de saturação por bases, consequentemente mais potássio é fixado quando um solo ácido recebe calcário.

YORK Jr. et al. (1954b) estudaram a influência da calagem e do potássio na produção e na composição de cátions nas plantas. Concluíram que a aplicação de KCl ao solo, sem o calcário, poderá prejudicar o crescimento das plantas, pois ocasionaria um aumento no teor de manganês do tecido. A calagem não teve efeito significativo ($P < 0,05$) na produção de matéria seca da alfafa na ausência de potássio, porém houve resposta significativa ($P < 0,05$) e positiva quando da aplicação de potássio. Encontrou-se maior teor de potássio na folha da alfafa quando não houve calagem.

Os métodos de cultivos sucessivos dão boa estimativa de reserva de potássio do solo. No entanto, as quantidades estimadas variam com a espécie utilizada. Isso decorre, da diferente capacidade das espécies vegetais em reduzir a concentração de potássio da solução e de sua capacidade de utilizar eficientemente o potássio, produzindo biomassa, sob concentrações extremamente baixas desse nutriente na solução do solo (SCHULTE & COREY, 1965).

FRANCO & DÖBEREINER (1967) trabalhando com solo arenoso da série Ecologia, constataram efeito prejudicial do potássio na nodulação, em termos de número e

tamanho de nódulos, bem como na fixação de nitrogênio em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Atribuíram esse fato ao excesso de potássio, o que compete com o cálcio na absorção pelas plantas.

ANDREW & ROBINS (1969) estudando o efeito do potássio no crescimento e na composição química de oito leguminosas de clima tropical e quatro de clima temperado, num solo com 0,04 meq K^+ /100 g de solo, obtiveram resposta da adição de potássio para todas as espécies, em termos de crescimento. Entretanto, não constatarem aumento na concentração de potássio na planta para a menor dose de cloreto de potássio.

Num trabalho em casa de vegetação, que visava comparar as respostas da alfafa mais sete leguminosas tropicais, à aplicação de vários fertilizantes em solo sob cerrado do Estado de São Paulo, JONES et al. (1970) verificaram que, com a adubação completa a produção de matéria seca de *Medicago sativa* foi superior ao dobro da leguminosa mais produtiva. A omissão de potássio não determinou alteração significativa ($P > 0,05$) da produção de matéria seca de qualquer das leguminosas. A omissão de potássio na adubação, resultou em aumento no teor de nitrogênio das espécies *Desmodium pabulare*, *Clitoria ternatea* e *Neonotonia wightii* e redução em *Medicago sativa*.

JONES & FREITAS (1970) conduziram um experimento em casa de vegetação estudando a produção de

matéria seca e a assimilação de nitrogênio por alfafa e quatro leguminosas tropicais num latossolo vermelho-amarelo ao qual aplicaram seis macro e cinco micronutrientes. Não se verificaram respostas em produção de matéria seca das espécies ao nitrogênio ou potássio. A concentração de nitrogênio nas plantas variou segundo a adubação e as espécies cultivadas. Com a adubação completa a produção de *Medicago sativa* foi superior ao dobro da produção da leguminosa tropical mais produtiva, concordando com o trabalho de JONES et al. (1970). Sem calagem o crescimento da *Medicago sativa* foi nulo, tendo as plantas perecido antes da data da colheita, o que é mais um indício de que é uma forrageira muito exigente quanto às condições de acidez do solo.

A elevação do pH do solo pela calagem aumenta a capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos que contém quantidades altas de minerais com cargas superficiais pH - dependentes. A maior CTC efetiva aumenta a capacidade dos solos em reter potássio, removendo-o da solução do solo e reduzindo o potencial de perdas por lixiviação. Altas doses de corretivos de acidez fornecem quantidades elevadas de cálcio às plantas, o que provavelmente estimulará o crescimento e a atividade das raízes, porém muito cálcio pode impedir a absorção de potássio na superfície das raízes. A calagem também pode resultar em retenção de potássio em sítios de absorção seletivos, que anteriormente eram ocupados

por cátions hidroxilados de alumínio.

Trabalhando com alfafa em seis solos do Rio Grande do Sul e verificando os efeitos no solo, KORNELIUS (1972) concluiu que a aplicação de cloreto de potássio causou a redução no pH dos solos, aumentou o manganês trocável e incrementou a absorção de manganês pela alfafa, nos níveis mais baixos de calcário. Esses resultados concordaram com os de YORK Jr. et al. (1954b) e RANDO (1992).

LOVADINI et al. (1977) estudaram o efeito de níveis de calagem, fósforo e potássio na produção de matéria seca de soja-perene (*Neonotonia wightii*) em solos de cerrado. Houve resposta significativa ($P < 0,05$) na produção de matéria seca apenas ao calcário e ao superfosfato simples. A aplicação de potássio não apresentou efeito significativo ($P > 0,05$) na produção de matéria seca, confirmando dados obtidos por ANDREWS & ROBINS (1969).

GOEDERT et al. (1975) trabalhando com duas classes de solos (Oxissolos e Ultissolos) do Sul do Brasil, concluíram que a calagem provocou o decréscimo da quantidade de potássio na solução, embora tenha sido mantido aproximadamente o mesmo nível de potássio trocável e a capacidade tampão do potássio aumentou. Concluíram que, embora a calagem diminuísse a suscetibilidade do potássio à lixiviação, ela também podia reduzir o potássio em solução a níveis que causavam deficiência nas plantas.

ARNON (1975) relatou alguns aspectos

relacionados à nutrição do milho com potássio, cálcio e magnésio. Aplicações elevadas de potássio puderam levar à deficiência de magnésio, sendo o antagonismo entre magnésio e potássio maior do que entre cálcio e potássio. O possível antagonismo entre potássio e cálcio apareceu somente em níveis altos de potássio. Em baixos níveis de potássio, aumentando-se o suprimento de potássio, houve tendência de ocorrer um aumento na absorção de cálcio, o que pode ser creditado à melhoria na fisiologia da planta em função da melhor nutrição potássica.

MAGDORFF & BARTLETT (1980) estudando o efeito da calagem sobre a disponibilidade de potássio em solos ácidos, obtiveram um decréscimo da disponibilidade do potássio na solução, com o aumento das doses de calcário, o que concorda com GOEDERT et al. (1975).

Em vários experimentos, onde a proporção de calcário foi variada, a absorção de potássio do solo pode ser afetada pela calagem. À medida que a proporção de calcário diminuiu, a produção também decresceu e, portanto, mais potássio não aproveitado permaneceu no sistema do solo. Este potássio residual complica a interpretação da distribuição do potássio no solo, a não ser que as observações se limitem à uma amplitude de doses de calcário que tenham pouco efeito sobre a produção ou absorção de potássio.

SILVA et al. (1984) relacionaram a resposta do algodoeiro (*Gossypium hirsutum*) à adubação potássica com a

aplicação de calcário e com a relação $(Ca + Mg)/K$. A produção do algodoeiro aumentou de forma linear com a calagem, quando em presença de potássio, em especial na dose de 100 kg K_2O/ha . Já na ausência de adubação, os acréscimos foram menores e de natureza quadrática e não significativos ($P > 0,05$). Puderam os autores concluir que a reação das plantas ao cloreto de potássio foi mais acentuada na presença de calcário.

DEFELIPO & BRAGA (1983) estudando dez Latossolos de Minas Gerais, constataram efeito significativo ($P < 0,01$) da calagem na absorção e retenção de potássio pelo solo. Esse aumento da adsorção de potássio devido à calagem, segundo os autores, pode ser justificado pela facilidade do potássio em substituir o cálcio no complexo de troca e o aumento da carga negativa dos solos, devido aos óxidos de ferro e alumínio em função da elevação do pH.

Segundo MIELNICZUK (1977) a calagem deveria reduzir o potencial de perda de potássio por lixiviação. Ela aumenta a capacidade de troca catiônica, devido ao aumento do pH. Desta forma fornece mais sítios de troca para a retenção de potássio. Além disso, a calagem precipita o alumínio trocável e, por isso, facilita a retenção, porque o potássio pode competir melhor com os íons cálcio, que permanecem no complexo de troca que com o alumínio que lá estava originalmente. Mostrou o autor, que a capacidade-tampão de potássio de um latossolo vermelho-escuro aumentou muito com a

calagem a pH 6,0.

O experimento, executado em câmara de crescimento, investigando a influência de três níveis de potássio (controle, médio e alto) e duas fontes (KCl e K_2SO_4), na fotossíntese, na concentração de carboidrato e na fixação de nitrogênio da alfafa conduzido por COLLINS & STANLEY (1981) permitiu verificar a influência positiva do potássio e do enxofre no crescimento da alfafa. Plantas fertilizadas com potássio como K_2SO_4 tiveram maior número de nódulos, comparada com as do tratamento do fertilizante KCl. Todos os tratamentos influenciaram a concentração de nitrogênio, tanto na parte aérea como nas raízes. A aplicação de potássio no solo aumentou a concentração de potássio na parte aérea e nas raízes em relação ao tratamento testemunha. Entretanto, o nível mais alto de potássio aplicado, resultou em apenas um moderado aumento no conteúdo de potássio na planta, comparando com o nível médio de potássio aplicado.

É frequente o consumo de luxo de potássio, sendo este nutriente extraído em grandes quantidades pelas culturas e especialmente pelas leguminosas. O potássio apresenta elevada importância para as leguminosas em termos de aumento de produção, qualidade e longevidade do estande. Pode-se encontrar na literatura uma amplitude de variação dos níveis críticos de potássio nos solos brasileiros de 0,13 a 0,20 meq K^+ /100 g, sendo dependente da planta e do solo,

segundo RITCHEY (1982).

BULL (1986) estudando a influência da relação $K/(Ca + Mg)$ do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageira, pode concluir que a leguminosa apresentou uma maior absorção de potássio e de cálcio + magnésio que a gramínea, que o aumento de absorção de potássio foi função da elevação nas relações $K/(Ca + Mg)$ no solo, e que promoveram, decréscimos proporcionais na absorção de cálcio + magnésio pelas espécies testadas.

Com o objetivo de determinar a influência da calagem sobre as perdas por lixiviação de potássio, cálcio e magnésio, BRAUNER & GARCEZ (1982) conduziram um experimento em casa de vegetação usando três tipos de solo, classificados como Planossolo, podzólico vermelho-amarelo e Brunizem do Rio Grande do Sul. Constataram que o pH do solo e as concentrações de potássio e cálcio na planta aumentaram em resposta às quantidades de $CaCO_3$ adicionadas ao solo. Com relação ao magnésio, não houve tendência bem definida em função dos níveis de $CaCO_3$. As variações de pH e de cálcio eram previsíveis, enquanto os de potássio foram inesperados, segundo os autores, e provavelmente devidas a uma liberação de formas fixadas. Os níveis de $CaCO_3$ utilizados influenciaram as perdas de potássio e cálcio nos três solos utilizados, mas não as de magnésio. Para os três elementos analisados independente da influência de $CaCO_3$, as perdas por

lixiviação foram influenciadas, também, pela natureza do solo. A tendência de aumento por lixiviação, em resposta às doses de CaCO_3 adicionadas poderia, aparentemente, estar associada ao aumento do potássio disponível. No entanto, isso não encontra apoio em RAIJ & CAMARGO (1974) que trabalharam com dez amostras de solo do Estado de São Paulo e evidenciaram que o potássio lixiviado era mais dependente dos teores de cálcio e magnésio trocáveis do que os teores de potássio trocável daqueles solos. Esses autores destacaram que os aumentos no cálcio e magnésio diminuíram as perdas de potássio por lixiviação e ressaltaram que as perdas de magnésio por lixiviação foram maiores do que aquelas de potássio, discordando de BRAUNER & GARCEZ (1982), onde as perdas de magnésio, quando comparadas com as de potássio, foram inferiores.

BARBARICK (1985) conduziu um experimento no campo e em casa de vegetação avaliando por quatro anos uma adubação potássica, num solo com adequado nível de potássio. O experimento conduzido no campo constou de três níveis de potássio (0, 375 e 750 kg potássio/ha) aplicados na forma de K_2SO_4 . O estudo na casa de vegetação foi estabelecido para determinar o efeito de quatro fertilizantes (KCl , K_2SO_4 , MgCl_2 e MgSO_4) aplicados em quatro níveis (0, 188, 376 e 752 kg K e Mg/ha) sobre a produção e composição catiônica da alfafa. O autor concluiu que, aparentemente, potássio e magnésio, competem pelo mesmo sítio de absorção na planta

mesmo que os níveis no solo estejam baixos. A aplicação de potássio ou magnésio resultou numa resposta positiva na produção de matéria seca. O magnésio propiciou resultado similar ao potássio no experimento da casa de vegetação. A alfafa respondeu à aplicação de potássio, mesmo num solo com altos níveis de potássio, provavelmente, segundo o autor, por causa da supressão de sódio, certamente restabelecendo o potássio.

YAMADA (1987) concluiu que os solos brasileiros, dado ao alto grau de intemperismo, apresentam uma pequena reserva de potássio. As possíveis exceções podem ser creditadas aos solos em que a fração argila é dominada por montmorilonita e mica. Os solos bem supridos de potássio são aqueles bem tamponados, contendo boa concentração de potássio na solução ao longo do ciclo da cultura e com boa capacidade de retenção de água.

RICCI et al. (1989) estudaram as frações granulométricas do solo como reserva de potássio para as plantas, objetivando verificar o fornecimento de potássio por essas frações. Foram realizados cinco cultivos sucessivos com sorgo, em casa de vegetação, em amostras de cinco solos de diferentes texturas e regiões do Estado de Minas Gerais. Pelas análises dos teores de potássio trocável, potássio não trocável e potássio total, verificou-se a distribuição dessas formas nas diferentes frações granulométricas dos solos e a resistência quanto à alteração desses teores durante os

cultivos. Os teores de potássio total dos solos foram muito superiores aos das demais formas de potássio. Entretanto, a forma não trocável, que indica reserva de potássio a médio prazo, não foi superior à trocável. Concluíram os autores, que somente a avaliação conjunta de todas as formas de potássio poderá predizer a capacidade de suprimento de potássio dos solos a curto, médio e longo prazo.

Experimentos caracterizando o suprimento de potássio e o potássio não trocável em doze solos calcários, cultivados com alfafa em casa de vegetação, por 584 dias (dezesseis cortes) HAVLIN & WESTFALL (1985) concluíram que solos argilosos possuem suprimento adequado de potássio disponível à planta, enquanto solos de textura arenosa não possuem. Depois de dezesseis cortes, o nível de potássio não trocável nos solos de textura argilosa, média e arenosa decresceu em 44, 33 e 58%, respectivamente.

Foram estudados os efeitos das aplicações de magnesita e cloreto de potássio em níveis de calcário sobre o crescimento de plantas de algodoeiro, em dois latossolos de Minas Gerais (PENA, 1991), com a finalidade de avaliar o efeito desses tratamentos sobre o pH e os teores de cálcio, magnésio e potássio trocáveis do solo e a concentração desses nutrientes na parte aérea das plantas. Ocorreram diferenças significativas ($P < 0,05$) entre níveis de calagem e entre solos para todas as variáveis, exceto os teores de potássio trocável no solo. As aplicações de magnesita e cloreto de

potássio influenciaram na produção de matéria seca das plantas. Verificou ainda, o autor, uma interação positiva da produção de matéria seca da parte aérea com o aumento das doses de corretivo. Doses elevadas de cloreto de potássio e magnesita tiveram efeito depressivo sobre o conteúdo de cálcio na parte aérea das plantas, sendo menor esse efeito com o aumento das doses de calcário. Os níveis críticos de cálcio, magnésio e potássio no solo foram influenciadas pelas doses de calcário e pelas características do solo, tal como o teor de argila.

KELLING & ERICKSON (1984) verificaram que a sobrevivência da população de plantas de alfafa foi significativamente ($P < 0,05$) potencializada pela adubação potássica em todos os solos que apresentaram conteúdos inferiores a 170 kg K/ha. Concordando com os resultados de nove anos de pesquisa, mostraram que a manutenção de estande produtivo e de maior longevidade só foi alcançado com aplicações anuais de 190 kg K/ha (MARKUS & BATTLE, 1965).

RANDO (1992) observou que a aplicação de cloreto de potássio incrementou significativamente ($P < 0,05$) o teor de manganês na matéria seca de alfafa na parte aérea, concordando com YORK Jr. (1954b). A aplicação de potássio diminuiu significativamente ($P < 0,01$) a concentração de cálcio e magnésio das plantas nos dois níveis de pH (em água) testados (5,4 e 6,8).

CARMELLO (1989) analisando o efeito da saturação por bases em relação ao potássio, cálcio e magnésio

do solo na nutrição potássica do milho (*Zea mays* L.), concluiu que a extração de potássio pelas plantas diminuiu com o aumento na relação Ca/Mg e a produção de matéria seca foi afetada de forma positiva pelo aumento na porcentagem de saturação por bases.

WASSERMANN & BERG (1990) conduziram um experimento em vasos e outro no campo a fim de comparar as respostas de alfafa e *Onobrychis viciifolia* Scop., às aplicações de fósforo, potássio e calcário. Os resultados do experimento em vasos sugeriram resposta às calagem de *Onobrychis* quando comparada com a de alfafa em termos de produção de matéria seca da parte aérea. Por outro lado, os requerimentos de fósforo e potássio pela alfafa foram considerados superiores aos de *Onobrychis*. Quanto ao potássio, apenas a alfafa respondeu significativamente ($P < 0,01$), o que foi confirmado pelo experimento no campo. Acrescentaram ainda os autores, haver uma tendência de reduzir o conteúdo de proteína bruta nas folhas com a aplicação de potássio.

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em vasos, em casa de vegetação no Departamento de Química, da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP, em Piracicaba, Estado de São Paulo, no período de junho a outubro de 1991.

3.1. Forrageira

Foi estudada a leguminosa forrageira alfafa (*Medicago sativa* L.), testando-se os cultivares Crioula, Moapa, Florida 77 e CUF 101.

3.2. Solo

O solo utilizado no experimento pertence ao grande grupo latossolo vermelho-amarelo (LVA) fase argilosa. Foi coletado à uma profundidade de 0 a 30 centímetros, foi seco à sombra, homogeneizado e passado em peneira com malha de 3 milímetros.

Do solo seco e peneirado foram retiradas amostras para análises químicas, que revelaram: matéria

orgânica = 3,59%; pH (em CaCl_2 0,01 Molar) = 4,68; fósforo resina = 3,0 $\mu\text{g/ml}$; hidrogênio + alumínio = 2,70; cálcio = 1,42; magnésio = 0,72; potássio = 0,09; soma de bases (S) = 2,23 e CTC = 4,93 ($\text{meq}/100 \text{ cm}^3$ T.F.S.A.). A porcentagem de saturação por bases (V%) nessas amostras estava em 45%.

3.3. Delineamento experimental

Empregou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso, num esquema fatorial $4 \times 3 \times 4$, com quatro níveis de calcário; três níveis de adubação potássica e quatro cultivares, envolvendo 48 tratamentos com quatro repetições, totalizando 192 vasos.

3.4. Calagem e incubação da terra

Foram empregados vasos de polietileno com capacidade para quatro quilogramas de terra seca.

Calculou-se a necessidade de calagem de acordo com o critério da porcentagem de saturação por bases preconizado por RAIJ et al. (1985).

A aplicação do corretivo foi efetuada em 30 de abril de 1991, seguindo-se os cálculos para elevar a saturação por bases do solo (V%) a: 45% (sem aplicação de corretivo); 60% correspondendo a uma aplicação de 950 kg de corretivo/ha; 75% correspondendo a uma aplicação de 1.900 kg

de corretivo/ha; 90% correspondendo a uma aplicação de 2.850 kg de corretivo/ha.

Utilizaram-se os reagentes analíticos puros CaO e MgO na proporção 2:1, finamente moídos e peneirados em malha 50, correspondendo a uma calcário dolomítico contendo 25,7% CaO e 12,8% de MgO (portanto com um equivalente em CaCO₃ e PRNT de 77,9%).

Após a calagem, o solo recebeu água destilada até a capacidade de campo, já previamente determinada, tendo sido os vasos cobertos com plástico. Os vasos foram pesados semanalmente, adicionando água para completar novamente a capacidade de campo, permanecendo incubados por 48 dias, até o preparo para o plantio.

3.5. Plantio e condução do experimento

Findo o período de incubação efetuou-se o destorroamento nos vasos.

A semeadura de cada cultivar foi conduzida no dia 18 de junho de 1991. As sementes (20 por vaso), foram colocadas em sulcos com 0,5 cm de profundidade e a 2 cm da borda do vaso. Colocaram-se em cada vaso, 25 ml de suspensão de *Rhizobium meliloti* em água destilada.

Após a germinação das sementes, foram efetuados sucessivos desbastes, até a permanência de cinco plantas por vaso.

Os seguintes nutrientes foram aplicados em todos os vasos, na forma de solução diluída, momentos após o plantio e sob a forma dos reagentes analíticos com as respectivas quantidades: $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (466,5 mg/vaso) correspondendo a 65,5 kg P/ha; Na_2SO_4 (213,0 mg/vaso) correspondendo a 30 kg S/ha; H_3BO_3 (18,04 mg/vaso) equivalente a 2,0 kg B/ha; $\text{CuCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (8,55 mg/vaso) correspondendo a 2 kg Cu/ha; $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot \text{H}_2\text{O}$ (0,74 mg/vaso) correspondendo a 250 g de Mo/ha e ZnCl_2 (6,70 mg/vaso) equivalente a 2 kg Zn/ha.

A adubação potássica foi efetuada três dias após o plantio, com a aplicação de uma solução preparada a partir do reagente analítico cloreto de potássio. Os níveis testados foram: sem adubação potássica; 100 kg K/ha (477,5 mg KCl/vaso) e 300 kg K/ha (1.431 mg KCl/vaso).

Após o plantio e durante todo o período de cultivo da leguminosa, os vasos foram irrigados diariamente com água destilada, para manter o solo próximo da capacidade de campo. Semanalmente eram realizadas pesagens individuais dos vasos e ajuste da umidade da terra em cada vaso.

A forrageira foi submetida a dois cortes. No início de florescimento, em 28 de agosto de 1991 (70 dias após o plantio), procedeu-se ao primeiro corte em todos os vasos. O segundo corte foi realizado aos 104, 106, 109 e 111 dias após o plantio, respectivamente para o primeiro, segundo, terceiro e quarto blocos experimentais, a fim de

viabilizar a colheita das raízes.

Após o primeiro corte, o KCl foi reaplicado nos vasos (níveis K₁ e K₂) que receberam potássio no início do experimento, de modo a repor esse nutriente, fornecendo 50 kg K/ha (238,75 mg KCl/vaso).

Imediatamente após o segundo corte, as raízes foram separadas do solo através de jatos de água corrente e posteriormente lavadas com água destilada.

Todo material vegetal colhido (parte aérea e raízes) sofreu secagem a 65°C em estufa de circulação forçada de ar até peso constante. Posteriormente, a parte aérea (primeiro e segundo corte) e as raízes foram pesadas separadamente, e moídas em moinho tipo Wiley.

3.6. Análises químicas das plantas

Em todo material da parte aérea da leguminosa procederam-se às determinações de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, boro, cobre, ferro, manganês e zinco. Nas raízes moídas determinou-se o nitrogênio.

Para todas essas determinações foram seguidos os procedimentos descritos por SARRUGE & HAAG (1974).

O nitrogênio foi determinado pelo método semi-micro Kjeldahl, com oxidação da matéria orgânica por ácido sulfúrico, em presença de agentes catalizadores e sais

para elevar a temperatura de ebulição do ácido.

Na determinação do boro empregou-se o método da azometina, com leitura no colorímetro fotoelétrico Klett-Summerson.

A extração nítrico-perclórica foi utilizada como ponto de partida para as demais determinações.

O fósforo foi determinado pelo método do vanadato-molibdato de amônio, com leituras em colorímetro fotoelétrico Klett-Summerson.

Para a determinação do cálcio fez-se uma diluição inicial do extrato com óxido de lantânio e procedeu-se a leitura em espectrofotômetro de absorção atômica Perkin Elmer 360.

O potássio foi determinado em extrato nítrico-perclórico diluído em água deionizada, sendo a leitura feita em fotômetro de chama micronal B262.

Empregou-se o método indireto para a determinação do enxofre, através do emprego de solução com excesso de bário e a leitura deste elemento no sobrenadante.

As demais leituras de magnésio, cobre, ferro, manganês e zinco, foram efetuadas em espectrofotômetro de absorção atômica Perkin Elmer 360.

3.7. Amostragens do solo

Dois dias antes do plantio (em 16 de junho de 1991), efetuou-se uma amostragem dos solos, retirando-se, com uma espátula de aço inoxidável, pequenas porções do solo dos vasos, segundo os níveis de calagem estudados. Assim, foram coletadas duas amostras dentro de cada nível de calagem e de cada bloco experimental, de tal forma a serem recolhidas 32 amostras compostas.

Após o corte e remoção da parte aérea da planta no segundo corte e antes da lavagem das raízes, realizou-se uma nova amostragem de terra. As amostras foram retiradas de cada vaso, com o auxílio de espátula de aço inoxidável, alcançando o fundo do vaso e totalizando 192 amostras de terra.

3.8. Análises químicas do solo

Em todas as amostras coletadas foram determinados fósforo, matéria orgânica, pH, potássio, cálcio, magnésio, $H+Al$, soma de bases trocáveis, capacidade de troca de cátions e porcentagem de saturação por bases, conforme metodologia descrita por RAIJ et al. (1987).

O pH foi obtido em suspensão do solo com uma solução de cloreto de cálcio 0,01 M.

A determinação da acidez potencial foi através

da solução tampão SMP, com a leitura do pH transformada em meq $H+Al/100\text{ cm}^3$, através da equação $\ln (H+Al) = 7,76 - 1,053 \text{ pH SMP}$.

A determinação da matéria orgânica foi realizada através da oxidação por dicromato de sódio em ácido sulfúrico à frio e leitura em colorímetro.

Determinaram-se fósforo, cálcio, magnésio e potássio por extração, através da resina trocadora de íons, separação da resina do solo e extração dos elementos da resina com solução ácida de cloreto de amônio.

A leitura de fósforo foi através da colorimetria utilizando a solução de molibdato com gelatina e ácido ascórbico; a de potássio foi através da fotometria de chama com o extrato diluído em água.

As leituras de cálcio e magnésio foram realizadas em espectrofotômetro de absorção atômica, utilizando extrato mais solução de óxido de lantânio a 0,1% (1 ml do extrato + 10 ml de solução contendo lantânio).

A soma de bases trocáveis, a capacidade de troca de cátions e a porcentagem de saturação por bases foram obtidas a partir dos resultados das determinações descritas individualmente.

3.9. Análises estatísticas

A análise estatística dos resultados baseou-se em GOMES (1970). Efetuou-se análise de variância dos resultados referente à produção de matéria seca da parte aérea (em cada um dos dois cortes) e dos referentes à produção de matéria seca das raízes, assim como da análise do solo.

O teste F foi usado para se determinar as significâncias dos tratamentos com desdobramento para as regressões linear e quadrática (para calagem e potássio).

Usou-se o teste de TUKEY para comparação das médias de cultivares.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeitos do calcário e do potássio no solo

Os resultados das análises químicas das amostras de solo coletadas nos vasos dois dias antes do plantio da leguminosa forrageira são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados das análises químicas do solo, em amostras retiradas 42 dias depois da calagem e antes do plantio. Médias de oito repetições.

Calcário (kg/ha)	P μg/ml	M.O. %	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al meq/100 cm ³	S	T	V
										%
0	5,99	5,06	4,92	0,09	2,25	0,90	3,43	3,23	6,66	48,5
950	4,43	4,38	5,03	0,08	2,58	1,13	2,89	3,81	6,67	56,6
1900	4,73	4,36	5,26	0,09	2,73	1,17	2,53	4,01	6,54	61,1
2850	5,15	4,54	5,61	0,08	3,54	1,58	2,22	5,20	7,40	70,0
F	*	*	**	ns	**	**	**	**	**	**
Reg. lin.	ns	*	**	ns	**	**	**	**	*	**
Reg. quad.	*	*	**	ns	*	*	*	*	*	ns
C.V. (%)	16,3	7,6	1,0	11,0	8,6	10,0	4,6	7,8	5,1	3,5

*, ** e ns = significativo aos níveis de 5% e 1% e não significativo, respectivamente.

A aplicação de calcário ao solo resultou em elevações do pH, dos teores de cálcio e magnésio trocáveis, da soma de bases (S), da capacidade de troca de cátions (T), bem como da porcentagem de saturação por bases (V) do solo (Tabela 1). Variações desse tipo são amplamente mencionadas na literatura, como por CAMARGO & RAIJ (1976) e MALAVOLTA (1976).

A necessidade de calagem (NC) pode ser definida como a quantidade de corretivo a ser aplicada ao solo para neutralizar a sua acidez, elevando-se o pH e a porcentagem de saturação por bases até um nível desejável.

Através dos resultados obtidos, constata-se que a porcentagem de saturação por bases do solo atingiu um valor máximo de 70%, quando o objetivo era alcançar 90%.

Segundo ALCARDE (1983), a reatividade dos corretivos no solo, isto é, a velocidade com que agem no solo e neutralizam a acidez, depende, além do tamanho das suas partículas, também da natureza química dos seus constituintes neutralizantes.

Existe uma correlação positiva entre pH e porcentagem de saturação por bases (V) do solo, conforme demonstrado, entre outros, por CATANI & GALLO (1955). Portanto, elevar o nível de saturação por bases corresponde a elevar o pH e diminuir o $H + Al$ do solo.

KORNELIUS (1972) concluiu que o pH foi decisivo para a produção de alfafa, atingindo produções

máximas de matéria seca entre pH 6,3 e 7,5; ressaltando que elevação excessiva do pH causa deficiência de micronutrientes.

As doses de calcário aplicadas ao solo resultaram em efeitos quadráticos para os teores de matéria orgânica, cálcio, magnésio, hidrogênio + alumínio, para soma de bases (S); capacidade de troca catiônica (T), e para pH e teor de fósforo. Para a porcentagem de saturação por bases a resposta às doses de calcário foi linear (Figura 1). Concordando com JOHN et al. (1972) que verificaram incrementos significativos ($P < 0,05$) na porcentagem de saturação por bases nos solos que receberam calcário. As equações de regressão e seus respectivos coeficientes de determinação encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2. Equações de regressão obtidas entre as variáveis estudadas no solo (antes do plantio), para os níveis de calcário testados (0; 950; 1900 e 2850 kg/ha) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Variável estudada	Equação de regressão ^a	R^2
Teor de fósforo	$Y = 5,900625 - 0,001801974 X + 0,000000055 X^2$	0,90
Teor de matéria orgânica (%)	$Y = 5,035751 - 0,0008432903 X + 0,000000024 X^2$	0,97
pH (CaCl ₂)	$Y = 4,924688 + 0,0000391439 X + 0,000000709 X^2$	0,99
Teor de cálcio	$Y = 2,285875 + 0,00005092 X + 0,000000130 X^2$	0,97
Teor de magnésio	$Y = 0,9251875 + 0,000082434 X + 0,000000048 X^2$	0,94
Teor de hidrogênio + alumínio	$Y = 3,422938 - 0,0005983 X + 0,000000067 X^2$	0,99
Soma de bases (S)	$Y = 3,29375 + 0,000171052 X + 0,00000017 X^2$	0,96
Capacidade de troca catiônica (T)	$Y = 6,72 - 0,00045263 X + 0,000000024 X^2$	0,86
Saturação por bases(V%)	$Y = 48,69625 + 0,0072724 X$	0,99

a. Y é o valor para a variável estudada enquanto X é a dose de calcário aplicada, dentro dos limites testados.

Figura 1 - Porcentagem de saturação por bases no solo, antes do plantio, em função dos níveis de calcário aplicados.

A Tabela 3 consta dos resultados das análises químicas das amostras de solo retiradas no dia da colheita final das leguminosas.

Tabela 3. Resultados das análises químicas do solo, em amostras tomadas no dia da colheita final da leguminosa forrageira cultivada. Significância do teste F e para os componentes linear e quadrático. Médias de quatro repetições.

Efeitos principais	P µg/ml	M.O. %	pH CaCl ₂	K	Ca	Mg	H+Al meq/100 cm ²	S	T	V %
CULTIVAR										
Crioula	20,71A	3,94AB	4,90A	0,17A	1,84A	0,83A	5,04A	2,84A	7,88A	37,22A
Moapa	23,47A	3,94 B	4,81AB	0,17A	1,85A	0,83A	5,15A	2,83A	7,98A	36,33A
Florida 77	19,68A	3,92 B	4,70BC	0,16A	1,81A	0,81A	4,98A	2,80A	7,77A	36,67A
CUF 101	22,32A	4,14A	4,66C	0,16A	1,87A	0,83A	5,11A	2,87A	7,98A	36,71A
F	ns	**	**	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
CALAGEM										
Calcário (kg/ha)										
0	20,23	3,89	4,54	0,18	1,43	0,60	5,66	2,22	7,98	28,66
950	23,17	3,99	4,68	0,17	1,71	0,76	5,40	2,64	8,04	33,70
1900	20,98	4,03	4,85	0,16	1,95	0,89	4,85	3,00	7,86	38,94
2850	21,74	4,04	5,00	0,15	2,28	1,05	4,27	3,47	7,74	45,65
F	ns	ns	**	*	**	**	**	**	**	**
Reg. lin.	ns	ns	**	**	**	**	**	**	**	**
Reg. quad.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
POTÁSSIO										
K (kg/ha)										
0	20,75	3,93	4,80	0,05	1,89	0,84	4,91	2,78	7,68	37,02
100	21,60	4,02	4,78	0,12	1,89	0,87	5,15	2,90	8,05	36,89
300	22,29	4,03	4,64	0,32	1,71	0,74	5,19	2,76	7,95	35,05
F	ns	ns	ns	**	**	**	**	ns	**	ns
Reg. lin.	ns	ns	ns	**	**	**	**	ns	**	ns
Reg. quad.	ns	ns	ns	*	ns	**	*	ns	**	ns
C.V. (%)	36,2	8,0	4,8	29,4	12,9	13,5	9,2	12,0	5,8	10,5

*, ** e ns = significativo aos níveis de 5% e 1% e não significativo, respectivamente.

Médias seguidas da mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Além da comprovação daqueles efeitos gerais da calagem já mencionados, pode-se notar na Tabela 3, variações significativas entre os resultados obtidos para os cultivares. Houve diferença significativa ($P < 0,01$) na matéria orgânica e no pH do solo para os cultivares, identificando diferenças no comportamento dos cultivares.

Os níveis de calcário empregados no solo reduziram linearmente o $H+Al$, K e CTC e incrementaram linearmente o pH, soma de bases, cálcio e o magnésio trocáveis (Tabela 4 e Figuras 2 e 3), até o valor de 2,28 e 1,05 equivalentes-miligrama por 100 centímetros cúbicos de solo, respectivamente. Esses valores estão acima do valor crítico para solo com pastagem (de 1,0 equivalente-miligrama por 100 centímetros cúbicos de solo) apontado por WERNER (1977).

O nível máximo de calcário empregado (2850 kg/ha), resultou em porcentagem de saturação por bases (V%) com um valor de 45,6% (ao final do experimento), bem próximo da porcentagem de saturação por bases do solo original, de 45%; verificando-se um efeito linear (Tabela 4). Esse parâmetro não mostrou variação significativa para as doses de potássio testados.

As doses de potássio aplicadas ao solo (0, 100 e 300 kg K/ha), na forma de KCl, aumentaram significativamente ($P < 0,01$) os níveis de potássio no solo, incrementando também a acidez do solo significativamente ($P < 0,01$) (Tabela 5).

Tabela 4. Equações de regressão obtidas entre as variáveis estudadas no solo por ocasião da colheita final, para os níveis de calcário testados (0; 950; 1900 e 2850 kg/ha) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Variável estudada	Equação de regressão ^a	R^2
pH (CaCl ₂)	$Y = 4,537333 + 0,0001631 X$	0,99
Teor de potássio	$Y = 0,182146 - 0,0000108 X$	0,99
Teor de cálcio	$Y = 1,426666 + 0,0002930 X$	0,99
Teor de magnésio	$Y = 0,601229 + 0,0001574 X$	0,99
Teor de hidrogênio + alúminio	$Y = 5,825313 - 0,0005318 X$	0,99
Soma de bases (S)	$Y = 2,216041 + 0,000434 X$	0,99
Capacidade de troca catiônica (T)	$Y = 8,040208 - 0,0000969 X$	0,78
Saturação por bases(V%)	$Y = 28,316459 + 0,005929 X$	0,99

a. Y é o valor para a variável estudada enquanto X é a dose de calcário aplicada, dentro dos limites testados.

Tabela 5. Equações de regressão obtidas entre as variáveis estudadas no solo por ocasião da colheita final, para os níveis de potássio testados (0; 100 e 300 kg/ha) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Variável estudada	Equação de regressão ^a	R^2
Teor de potássio	$Y = 0,046875 + 0,0007078 X + 0,00000077 X^2$	0,99
Teor de cálcio	$Y = 1,910938 - 0,0005008 X$	0,87
Teor de magnésio	$Y = 0,844687 + 0,0006268 X - 0,00000031 X^2$	0,99
Teor de hidrogênio + alumínio	$Y = 4,906406 + 0,0032180 X - 0,00000804 X^2$	0,99
Capacidade de troca catiônica (T)	$Y = 7,681251 + 0,0050937 X - 0,00001375 X^2$	0,99

a. Y é o valor para a variável estudada enquanto X é a dose de potássio aplicada, dentro dos limites testados.

Figura 2 - Teor de cálcio trocável no solo por ocasião da colheita final, em função dos níveis de calcário aplicados.

Figura 3 - Teor de magnésio trocável no solo por ocasião da colheita final, em função dos níveis de calagem aplicados.

As alterações no pH, nos teores de fósforo e de matéria orgânica, induzidas pela aplicação do potássio não foram significativas ($P > 0,05$). Quanto à capacidade de troca de cátions (T), para os três níveis de potássio aplicados, houve variação significativa ($P < 0,01$), sendo a dose de 185 kg K/ha correspondente ao ponto de máximo, conforme a equação de regressão na Tabela 5.

Uma calagem adicional para elevar o pH acima daquele no qual todo o alumínio tenha sido neutralizado afetaria a capacidade de troca de cátions efetiva por desprotonação de sítios dependentes de pH. Não se sabe se este tratamento teria o mesmo efeito no potássio da solução do solo como as reações nas quais a capacidade de troca de cátions foi aumentada pela remoção do alumínio, segundo GOEDERT et al. (1975). Acrescentaram esses autores que onde a matéria orgânica é a fonte principal da capacidade de troca catiônica (CTC), o aumento da capacidade tampão do potássio, à medida que o CTC é aumentado pela calagem, não deveria ser tão rápida quanto no caso em que há neutralização do alumínio.

Os teores de magnésio trocável diferiram estatisticamente, com significância ao nível de 1% e efeito quadrático (Tabela 5 e Figura 4) para as doses de potássio aplicadas. O ponto de máximo, através da equação de regressão, é alcançado com 101 kg K/ha.

Pelos resultados da Tabela 3, constata-se que

o cálcio trocável do solo atingiu o valor mínimo de 1,71 meq/100 cm³, quando se aplicou o maior nível de potássio (Figura 5), caracterizando um efeito negativo e linear. Pela equação de regressão que se encontra na Tabela 5, o valor máximo foi de 1,91 meq/100 cm³.

Os níveis de calcário aplicados ao solo incrementaram os valores de pH linearmente (Tabela 4). O pH 5,00 foi o maior valor encontrado para a maior dose de calcário testada (2850 kg/ha), diferindo em 11% do pH inicial.

Quanto à soma de bases (S) houve efeito linear (Tabela 4) para as doses de calcário aplicado, sendo a diferença de 64% entre a ausência de calagem e a dose de 2850 kg/ha. Durante o decorrer de todo o experimento essa diferença em porcentagem dos valores da soma de bases (S) se manteve.

Os teores de potássio apresentaram variação significativa ($P < 0,05$) e efeito linear negativo (Tabela 4) e efeito quadrático (Tabela 5) para as doses de calcário e de potássio, respectivamente.

Os níveis de calcário e adubação potássica não apresentaram diferenças significativas nos teores de fósforo e matéria orgânica.

Os valores encontrados para capacidade de troca catiônica mostraram efeito linear negativo (Tabela 4) quanto aos níveis de calagem testados.

Figura 4 - Teor de magnésio trocável no solo por ocasião da colheita final, em função dos níveis de potássio aplicado.

Figura 5 - Teor de cálcio trocável no solo por ocasião da colheita final, em função dos níveis de potássio aplicados.

RAIJ (1991) ressaltou que os solos ricos em cálcio, apresentam maior capacidade de troca de cátions, condições essas que contribuem para reduzir um pouco a disponibilidade de potássio. Em presença de teores mais elevados de cálcio e magnésio trocáveis no solo, os mesmos teores de potássio trocável podem se revelar menos disponíveis para certas culturas.

A calagem aumentou linearmente a disponibilidade de cálcio e de magnésio no solo (Tabela 4).

4.2. Efeitos na planta

4.2.1. Produção de matéria seca e nitrogênio na planta

Os resultados relativos à produção de matéria seca, porcentagem de nitrogênio e quantidade total de nitrogênio para os quatro cultivares, os quatro níveis de calagem e os três níveis de adubação potássica, estão apresentados nas Tabelas 6 e 7, para o primeiro corte e o segundo corte, respectivamente e na Tabela 8 para raízes. As equações de regressão e seus respectivos coeficientes de determinação relativos às respostas aos níveis de calcário e de potássio estão apresentados nas Tabelas 9 a 12.

Tabela 6. Produção de matéria seca, porcentagem de nitrogênio e quantidade total de nitrogênio na parte aérea do primeiro corte (70 dias), em função dos cultivares e dos níveis de calcário e de potássio. Médias de quatro repetições.

Efeitos principais	M.S. g/vaso	N %	N total mg/vaso
CULTIVAR			
Crioula	2,96 B	3,10 A	91 B
Moapa	3,18 B	2,93 AB	93 AB
Florida 77	3,50 A	2,90 B	101 A
CUF 101	3,54 A	2,85 B	100 AB
F	**	**	**
Calcário CALAGEM			
(kg/ha)			
0	3,18	2,90	91
950	3,19	2,96	93
1900	3,43	2,91	98
2850	3,37	3,01	101
F	**	ns	**
Reg.lin.	**	ns	**
Reg.quad.	ns	ns	ns
K POTASSIO			
(kg/ha)			
0	3,31	3,02	100
100	3,34	2,89	96
300	3,23	2,92	93
F	ns	*	*
Reg.lin.	ns	ns	*
Reg.quad.	ns	*	ns
C.V. (%)	13,8	9,4	15,4

*, ** e ns = significativo aos níveis de 5% e 1% e não significativo, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Tabela 7. Produção de matéria seca, porcentagem de nitrogênio e nitrogênio total na parte aérea do segundo corte (104-111 dias), em função dos cultivares dos níveis de calcário e de potássio. Média de quatro repetições.

Efeitos principais	M.S. g/vaso	N %	N total mg/vaso
CULTIVAR			
Crioula	4,72 A	2,96 A	141 A
Moapa	4,72 A	2,73 B	129 A
Florida 77	4,80 A	2,80 AB	135 A
CUF 101	4,99 A	2,64 B	132 A
F	ns	**	ns
CALAGEM			
Calcário (kg/ha)			
0	4,20	2,57	109
950	4,82	2,80	135
1900	5,06	2,84	143
2850	5,15	2,92	150
F	**	**	**
Reg.lin.	**	**	**
Reg.quad.	**	ns	**
POTASSIO			
K (kg/ha)			
0	4,60	2,93	136
100	5,15	2,74	141
300	4,67	2,67	126
F	**	**	**
Reg.lin.	ns	**	**
Reg.quad.	**	*	**
C.V. (%)	13,0	10,3	17,4

*, ** e ns = significativo aos níveis de 5% e 1% e não significativo, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Tabela 8. Produção de matéria seca, porcentagem de nitrogênio e quantidade total de nitrogênio nas raízes, em função dos cultivares, dos níveis de calcário e potássio. Médias de quatro repetições.

Efeitos principais	M.S. g/vaso	N %	N TOTAL mg/vaso
CULTIVAR			
Crioula	9,90 A	2,17 A	222 A
Moapa	9,69 A	2,14 A	208 AB
Florida 77	8,61 B	2,23 A	195 B
CUF 101	8,95 AB	2,25 A	202 AB
F	**	ns	**
CALAGEM			
Calcário (kg/ha)			
0	7,23	2,29	173
950	8,91	2,19	201
1900	10,58	2,21	227
2850	10,60	2,11	225
F	**	**	**
Reg. lin.	**	**	**
Reg. quad.	**	**	**
POTÁSSIO			
K (kg/ha)			
0	7,28	2,23	169
100	10,19	2,24	231
300	10,55	2,13	220
F	**	*	**
Reg. lin.	**	*	**
Reg. quad.	**	ns	**
C.V. (%)	16,9	12,2	20,3

*, ** e ns = significativo aos níveis de 5% e 1% e não significativo, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Tabela 9. Equações de regressão obtidas entre a produção de matéria seca e a quantidade de nitrogênio total na parte aérea da alfafa, para os níveis de calcário testados (0; 950; 1.900 a 2.850 kg/ha), referentes ao primeiro e segundo cortes da planta a porcentagem de nitrogênio no segundo corte, e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Variável estudada	Equação de regressão ^a	R^2
1º CORTE		
Matéria seca	$Y = 3,171 + 0,000086 X$	0,67
Nitrogênio total	$Y = 91,188 + 0,00363 X$	0,97
2º CORTE		
Matéria seca	$Y = 4,207 + 0,00075 X - 0,00000015 X^2$	0,99
Teor de nitrogênio	$Y = 2,619 + 0,000113 X$	0,89
Nitrogênio total	$Y = 109,66 + 0,0290 X - 0,0000053 X^2$	0,98

a. Y é o valor para a variável estudada enquanto X é a dose de calcário aplicado, dentro dos limites testados.

Tabela 10. Equações de regressão obtidas entre a produção de matéria seca, a porcentagem de nitrogênio e a quantidade de nitrogênio total na parte aérea da alfafa, para os níveis de potássio testados (0; 100 e 300 kg/ha), referentes ao primeiro e segundo cortes da planta e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Variável estudada	Equação de regressão ^a	R^2
1 ^o CORTE		
Teor de nitrogênio	$Y = 3,023 - 0,00185 X + 0,00000504 X^2$	0,99
Nitrogênio total	$Y = 99,039 - 0,0201 X$	0,89
2 ^o CORTE		
Matéria seca	$Y = 4,604 + 0,00815 X - 0,0000265 X^2$	0,99
Teor de nitrogênio	$Y = 2,929 - 0,00237 X + 0,0000050 X^2$	0,99
Nitrogênio total	$Y = 135,93 + 0,09879 X - 0,000442 X^2$	0,99

a. Y é o valor para a variável estudada enquanto X é a dose de potássio aplicado, dentro dos limites testados.

Tabela 11. Equações de regressão obtidas entre a produção de matéria seca, a porcentagem de nitrogênio e a quantidade de nitrogênio total nas raízes da alfafa para os níveis de calcário testados (0; 950; 1.900 a 2.850 kg/ha) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Variável estudada	Equação de regressão ^a	R^2
Matéria seca	$Y = 8,007 + 0,00177 X - 0,0000004 X^2$	0,99
Teor de nitrogênio	$Y = 2,024 + 0,00025 X - 0,000000055 X^2$	0,91
Nitrogênio total	$Y = 165,08 + 0,0552 X - 0,000012 X^2$	0,98

a. Y é o valor para a variável estudada enquanto X é a dose de calcário aplicado, dentro dos limites testados.

Tabela 12. Equações de regressão obtidas entre a produção de matéria seca, a porcentagem de nitrogênio e a quantidade de nitrogênio total nas raízes da alfafa, para os níveis de potássio testados (0; 100 e 300 kg/ha) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Variável estudada	Equação de regressão ^a	R^2
Matéria seca	$Y = 7,236 + 0,0312 X - 0,000091 X^2$	0,99
Teor de nitrogênio	$Y = 2,248 - 0,00037 X$	0,80
Nitrogênio total	$Y = 168,84 + 0,854 X - 0,0023 X^2$	0,99

a. Y é o valor para a variável estudada enquanto X é a dose de potássio aplicado, dentro dos limites testados.

As produções de matéria seca da parte aérea verificadas no primeiro corte (Tabela 6) variaram significativamente ($P < 0,01$) entre os cultivares testados. Os cultivares de maior produção foram Florida 77 e CUF 101. No segundo corte (Tabela 7) as produções de matéria seca não tiveram diferenças significativas ($P > 0,05$). Para as raízes (Tabela 8) houve diferença significativa ($P < 0,01$) na produção de matéria seca entre os cultivares testados, tendo o cultivar Florida 77 se caracterizado como o cultivar de menor produção. Contudo, por ocasião do primeiro corte (Tabela 6), junto com o cultivar CUF 101, este obteve maior produção. Parece ter ocorrido uma tendência de acumular matéria seca na parte aérea, em detrimento da produção de matéria seca da raiz.

As produções de matéria seca da parte aérea verificadas no primeiro corte (Tabela 6) foram significativamente ($P < 0,01$) aumentadas pela calagem apresentando efeito linear. Isto difere do segundo corte (Tabela 7), no qual o efeito foi quadrático (Figura 6) e as respectivas equações de regressão encontram-se na Tabela 9. A alfafa normalmente tem mostrado respostas acentuadas à calagem. ADAMS & PEARSON (1967), concluíram que a alfafa é responsiva a calagem, concordando com FREITAS & PRATT (1969), KORNELIUS (1972), STAMMEL & KORNELIUS (1973), RANDO (1992), entre outros.

Observando-se as produções de matéria seca na

Tabela 6, nota-se que para aplicação de potássio o efeito não foi significativo ($P > 0,05$). Isto foi diferente no segundo corte (Tabela 7), no qual o efeito foi quadrático, e a maior produção de matéria seca correspondeu à dose de 154 kg K/ha, conforme a equação de regressão da Tabela 10 e Figura 7. JONES & FREITAS (1970), SANZONOWICZ & VARGAS (1980), concluíram que o potássio teve efeito positivo na produção de matéria seca da alfafa, e segundo RANDO (1992), somente foi possível constatar benefícios da adição de potássio, somente quando se eliminou a acidez do solo.

A porcentagem de nitrogênio na parte aérea da planta, tanto no primeiro como no segundo corte (Tabelas 6 e 7) mostrou variação significativa ($P < 0,01$) entre os cultivares. A concentração desse nutriente foi menor nos cultivares em que ocorreu simultâneo aumento na produção de matéria seca, o que atribuiu para a queda do teor de nitrogênio devido a um efeito de diluição do elemento na planta.

A porcentagem de nitrogênio na parte aérea da planta, por ocasião do primeiro corte (Tabela 6) não sofreu variação significativa com as doses de calcário aplicado. No segundo corte (Tabela 7), o efeito foi linear, com acréscimo simultâneo a um aumento na produção de matéria seca da parte aérea, refletindo os benefícios oriundos da correção da acidez do solo. Isso permite supor que ao tempo do primeiro corte a nodulação dessa leguminosa não estava em

pleno funcionamento. Quanto à porcentagem de nitrogênio das raízes, para a calagem (Tabela 8), o efeito foi quadrático com máximo em 2.500 kg/ha e sua respectiva equação de regressão encontra-se na Tabela 11 e representada na Figura 8.

JONES & FREITAS (1970), SANZONOWICZ & VARGAS (1980) e LEPSCH & CLEMENTS (1985), concluíram que a aplicação de potássio tem efeito positivo na quantidade extraída de nitrogênio no tecido das plantas.

Tanto no primeiro como no segundo corte (Tabelas 6 e 7), a porcentagem de nitrogênio na parte aérea, em função das doses de potássio, revelou um efeito quadrático, segundo as equações de regressão da Tabela 10. Para as raízes o efeito foi linear e negativo com respectiva equação de regressão apresentada na Tabela 12 e na Figura 8.

Figura 6 - Produção de matéria seca da parte aérea do material colhido no segundo corte da alfafa, em função do calcário aplicado.

Figura 7 - Produção de matéria seca da parte aérea do material colhido no segundo corte da alfafa, em função do potássio aplicado.

Figura 8 - Porcentagem de nitrogênio nas raízes de alfafa, em função do calcário aplicado.

Figura 9 - Porcentagem de nitrogênio nas raízes de alfafa, em função do potássio aplicado.

Para a quantidade total de nitrogênio na parte aérea da planta houve variação significativa ($P < 0,01$), por ocasião do primeiro corte (Tabela 6) para os cultivares testados. Foi evidente a superioridade do cultivar Florida 77 em relação ao cultivar Crioula, enquanto os outros cultivares não diferiram entre si. No segundo corte (Tabela 7) não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre os cultivares, para essa variável. Em relação às raízes (Tabela 8) houve diferença significativa ($P < 0,01$) entre os cultivares Crioula e Florida 77, para essa variável testada, tendo os mesmos acumulado 222 mg/vaso e 195 mg/vaso respectivamente. Isto se deu ao contrário do resultado por ocasião do primeiro corte, podendo ressaltar a diferença no estabelecimento dos cultivares.

Para os níveis de calcário o efeito foi linear e positivo, enquanto para os níveis de potássio foi linear e negativo, em relação ao nitrogênio total da parte aérea no primeiro corte (Tabela 6 e Figuras 10 e 11). Parece ter havido nítida influência no maior desenvolvimento das plantas com o consequente suprimento de carboidratos e de cálcio, magnésio e potássio para os nódulos. Já no segundo corte (Tabela 7) verificou-se, para as doses de calagem e de potássio, um efeito quadrático com máximos em 2.736 e 112 kg/ha, representado pelas equações de regressão mostradas nas Tabelas 9 e 10 e nas Figuras 12 e 13, respectivamente.

Figura 10 - Quantidade total de nitrogênio total na parte aérea da alfafa, no material colhido no primeiro corte, em função do calcário aplicado.

Figura 11 - Quantidade total de nitrogênio na parte aérea da alfafa, no material colhido no primeiro corte, em função do potássio aplicado.

Figura 12 - Quantidade total de nitrogênio na parte aérea da alfafa, no material colhido no segundo corte, em função do calcário aplicado.

Figura 13 - Quantidade total de nitrogênio na parte aérea da alfafa, no material colhido no segundo corte, em função do potássio aplicado.

Em função do corretivo e do potássio aplicados ao solo verificou-se efeito quadrático em relação ao nitrogênio total das raízes (Tabela 8) cujas equações de regressão encontram-se respectivamente, nas Tabelas 11 e 12.

4.2.2. Teores de macro e micronutrientes na planta

Os resultados dos teores de macro e micronutrientes no material vegetal do primeiro e segundo cortes, para os quatro cultivares de alfafa e em função dos quatro níveis de calagem e dos três níveis de adubação potássica, são apresentados nas Tabelas 13 a 16. As equações de regressão para calagem e potássio, com os coeficientes de determinação encontram-se nas Tabelas 17 a 20.

De um modo geral, pode-se verificar que os valores obtidos estão dentro de valores normalmente encontrados na literatura. Cabe salientar que para os teores de fósforo no primeiro corte (Tabela 13), o cultivar Crioula teve teor significativamente ($P < 0,01$) superior ao CUF 101. Para os teores de cálcio (Tabela 13), pode-se verificar diferença significativa ($P < 0,05$) entre os cultivares, sendo que o cultivar Moapa apresentou teor de cálcio superior ao do cultivar Crioula. Para potássio, magnésio e enxofre não foram detectadas diferenças significativas ($P > 0,05$) entre os cultivares.

Tabela 13. Teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea no primeiro corte (70 dias após o plantio), em função dos cultivares e dos níveis de calcário e de potássio. Média de quatro repetições.

Efeitos principais	P	K	Ca	Mg	S
	%				
CULTIVAR					
Crioula	0,13 A	1,76 A	2,54 B	0,49 A	0,14 A
Moapa	0,12 AB	1,70 A	2,72 A	0,51 A	0,14 A
Florida 77	0,12 AB	1,65 A	2,61 AB	0,51 A	0,14 A
CUF 101	0,11 B	1,73 A	2,61 AB	0,52 A	0,12 A
F	**	ns	*	ns	ns
CALAGEM					
Calcário (kg/ha)					
0	0,12	1,80	2,55	0,47	0,13
950	0,12	1,77	2,64	0,50	0,13
1900	0,12	1,64	2,65	0,52	0,13
2850	0,12	1,63	2,64	0,56	0,15
F	ns	ns	ns	**	ns
Reg.lin.	ns	ns	ns	**	ns
Reg.quad.	ns	ns	ns	ns	ns
POTASSIO					
K (kg/ha)					
0	0,13	0,63	2,77	0,65	0,15
100	0,12	1,77	2,62	0,48	0,13
300	0,11	2,73	2,47	0,40	0,13
F	**	**	**	**	**
Reg.lin.	**	**	**	**	**
Reg.quad.	**	**	ns	**	ns
C.V. (%)	16,8	23,2	10,8	12,8	29,6

*, ** e ns = Significativo aos níveis de 5% e 1% e não significativo, respectivamente.
Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Tabela 14. Teores de fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre na parte aérea no segundo corte (104 dias após o plantio), em função dos cultivares, e dos níveis de calcário e de potássio. Média de quatro repetições.

Efeitos principais	P	K	Ca %	Mg	S
CULTIVAR					
Crioula	0,12 A	1,18 A	1,53 B	0,36 B	0,16 A
Moapa	0,12 A	1,22 A	1,67 A	0,39 A	0,15 A
Florida 77	0,12 A	1,22 A	1,59 AB	0,38 AB	0,16 A
CUF 101	0,12 A	1,17 A	1,58 AB	0,38 AB	0,16 A
F	ns	ns	**	*	ns
CALAGEM					
Calcário (kg/ha)					
0	0,13	1,20	1,51	0,35	0,16
950	0,12	1,17	1,65	0,37	0,17
1900	0,16	1,18	1,60	0,38	0,15
2850	0,11	1,24	1,61	0,40	0,17
F	**	ns	*	**	ns
Reg.lin.	**	ns	ns	**	ns
Reg.quad.	*	ns	*	ns	ns
POTASSIO					
K (kg/ha)					
0	0,14	0,42	1,83	0,53	0,17
100	0,11	1,41	1,54	0,32	0,15
300	0,13	1,77	1,40	0,27	0,16
F	**	**	**	**	*
Reg.lin.	**	**	**	**	ns
Reg.quad.	**	**	**	**	*
C.V. (%)	16,7	23,2	12,8	13,5	23,9

*, ** e ns = Significativo aos níveis de 5% e 1% e não significativo, respectivamente.
Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Tabela 15. Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco na parte aérea no primeiro corte (70 dias após o plantio), em função dos cultivares, dos níveis de calagem e potássio. Médias de quatro repetições.

Efeitos principais	B	Cu	Fe mg/kg	Mn	Zn
CULTIVAR					
Crioula	55 A	23 A	130 A	83 B	41 A
Moapa	46 B	21 AB	125 A	93 A	38 AB
Florida 77	47 B	20 AB	119 A	80 B	41 A
CUF 101	43 B	20 B	124 A	80 B	36 B
F	**	*	ns	**	**
CALAGEM					
Calcário (kg/ha)					
0	45	20	123	107	44
950	46	21	133	87	41
1900	49	21	115	76	37
2850	50	22	127	66	33
F	**	ns	*	**	**
Reg.lin.	**	ns	ns	**	**
Reg.quad.	ns	ns	ns	**	ns
POTÁSSIO					
K (kg/ha)					
0	48	21	125	81	34
100	49	21	123	82	40
300	45	21	125	89	42
F	*	ns	ns	**	**
Reg.lin.	**	ns	ns	**	**
Reg.quad.	ns	ns	ns	ns	**
C.V. (%)	19,5	21,6	22,4	12,6	19,3

*, ** e ns = Significativo aos níveis de 5% e 1% e não significativo, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Tabela 16. Teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco na parte aérea no segundo corte (104-111 dias após o plantio), em função dos cultivares, dos níveis de calagem e de potássio. Médias de quatro repetições.

Efeitos principais	B	Cu	Fe mg/kg	Mn	Zn
CULTIVAR					
Crioula	48 A	38 A	432 A	73 BC	51 A
Moapa	40 B	38 A	426 A	81 A	48 AB
Florida 77	39 B	37 A	424 A	76 AB	47 AB
CUF 101	37 B	38 A	392 A	68 C	43 B
F	**	ns	ns	**	**
CALAGEM					
Calcário (kg/ha)					
0	41	37	469	97	46
950	42	38	417	78	48
1900	41	38	394	67	47
2850	40	38	395	57	47
F	ns	ns	**	**	ns
Reg.lin.	ns	ns	**	**	ns
Reg.quad.	ns	ns	ns	*	ns
POTÁSSIO					
K (kg/ha)					
0	42	40	430	71	44
100	40	37	401	73	48
300	41	35	425	79	49
F	ns	**	ns	**	*
Reg.lin.	ns	**	ns	**	**
Reg.quad.	ns	ns	ns	ns	*
C.V. (%)	18,7	19,6	28,1	16,4	15,2

*, ** e ns = Significativo aos níveis de 5% e 1% e não significativo, respectivamente.

Médias seguidas pela mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey (5%).

Tabela 17. Equações de regressão obtidas entre teores de alguns macronutrientes e micronutrientes no material do primeiro corte da alfafa, para os níveis de calcário testados (0; 950; 1.900 a 2.850 kg/ha) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Variável estudada	Equação de regressão ^a	R^2
Teor de magnésio (%)	$Y = 0,468 + 0,000030 X$	0,97
Teor de boro (mg/kg)	$Y = 44,785 + 0,002044 X$	0,96
Teor de manganês (mg/kg)	$Y = 106,386 - 0,0215 X + 0,00000269 X^2$	0,99
Teor de zinco (mg/kg)	$Y = 44,771 - 0,004144 X$	0,99

a. Y é o valor para a variável estudada enquanto X é a dose de calcário aplicado, dentro dos limites testados.

Tabela 18. Equações de regressão obtidas entre teores de alguns macronutrientes e micronutrientes no material do primeiro corte da alfafa, para os níveis de potássio testados (0; 100 e 300 kg/ha) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Variável estudada	Equação de regressão ^a	R^2
Teor de fósforo (%)	$Y = 0,1317 - 0,000202 X + 0,0000004 X^2$	0,99
Teor de potássio (%)	$Y = 0,6042 + 0,01431 X - 0,0000247 X^2$	0,99
Teor de cálcio (%)	$Y = 2,745 - 0,000962 X$	0,97
Teor de magnésio (%)	$Y = 0,650 - 0,00248 X + 0,0000044 X^2$	0,99
Teor de enxofre (%)	$Y = 0,141 - 0,000060 X$	0,70
Teor de boro (mg/kg)	$Y = 49,103 + 0,0105 X$	0,70
Teor de manganês(mg/kg)	$Y = 80,689 + 0,0264 X$	0,99
Teor de zinco (mg/kg)	$Y = 34,187 + 0,074 X - 0,0154 X^2$	0,99

a. Y é o valor para a variável estudada enquanto X é a dose de potássio aplicado, dentro dos limites testados.

Tabela 19. Equações de regressão obtidas entre teores de alguns macronutrientes e micronutrientes no material do segundo corte da alfafa, para os níveis de calcário testados (0; 950; 1.900 a 2.850 kg/ha) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Variável estudada	Equação de regressão ^a	R^2
Teor de fósforo (%)	$Y = 0,129 - 0,000015 X + 0,0000000033 X^2$	0,99
Teor de cálcio (%)	$Y = 1,523 + 0,000127 X - 0,000000036 X^2$	0,72
Teor de magnésio (%)	$Y = 0,345 + 0,0000177 X$	0,94
Teor de ferro (mg/kg)	$Y = 455,08 - 0,02554 X$	0,78
Teor de manganês (mg/kg)	$Y = 96,226 - 0,02063 X + 0,00000236 X^2$	0,99

a. Y é o valor para a variável estudada enquanto X é a dose de calcário aplicado, dentro dos limites testados.

Tabela 20. Equações de regressão obtidas entre teores de alguns macronutrientes e micronutrientes no material do segundo corte da alfafa, para os níveis de potássio testados (0; 100 e 300 kg/ha) e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Variável estudada	Equação de regressão ^a	R^2
Teor de fósforo (%)	$Y = 0,141 - 0,00037 X + 0,00000082 X^2$	0,99
Teor de potássio (%)	$Y = 0,416 + 0,0126 X - 0,000027 X^2$	0,99
Teor de cálcio (%)	$Y = 1,827 - 0,0035 X + 0,0000071 X^2$	0,99
Teor de magnésio (%)	$Y = 0,533 - 0,0027 X + 0,0000060 X^2$	0,99
Teor de enxofre (%)	$Y = 0,166 - 0,00020 X + 0,00000060 X^2$	0,99
Teor de cobre (mg/kg)	$Y = 39,176 + 0,0156 X$	0,88
Teor de manganês(mg/kg)	$Y = 71,051 + 0,02427 X$	0,98
Teor de zinco (mg/kg)	$Y = 44,047 + 0,0544 X - 0,00012 X^2$	0,70

a. Y é o valor para a variável estudada enquanto X é a dose de potássio aplicado, dentro dos limites testados.

No material colhido do segundo corte (Tabela 14) a análise para cultivares revelou diferenças significativas para os teores de cálcio ($P < 0,01$) e os teores de magnésio ($P < 0,05$). O cultivar Moapa apresentou valores superiores ao cultivar Crioula, para as duas variáveis, não diferindo dos cultivares Florida 77 e CUF 101. Para fósforo, potássio e enxofre não foram detectadas diferenças significativas ($P > 0,05$) entre cultivares neste corte.

No que se refere aos micronutrientes (boro, cobre, manganês e zinco) cabe salientar que, para os cultivares testados houve diferença significativa ($P < 0,01$) para os teores de boro, manganês e zinco encontrados no material colhido da parte aérea, no primeiro e segundo cortes (Tabelas 15 e 16). O cultivar Crioula, apresentou teor de boro superior aos demais cultivares (valores de 55 e 48 mg/kg no primeiro e segundo corte, respectivamente nesse cultivar). Dentre os micronutrientes, o boro é normalmente o mais exigido pela alfafa, sendo por esta razão usualmente feitas aplicações para o estabelecimento dessa cultura (NUERNBERG, 1986). A alfafa parece ser particularmente suscetível à deficiência de boro e muitos trabalhos tem tentado determinar o nível adequado desse elemento. Vários deles já estimaram, teores de 7 a 23 mg/kg como a faixa para deficiência desse nutriente na alfafa (HANSON, 1972). No presente trabalho os teores encontrados nos cultivares excede a esses níveis

apontados para a deficiência desse micronutriente.

Os teores de zinco no material colhido do primeiro corte, ficaram entre 36 e 41 mg/kg, tendo os cultivares Crioula e Florida 77 concentrações superiores significativamente ($P < 0,01$) às do cultivar CUF 101 (Tabela 15). Os teores de zinco encontrados no material do segundo corte variaram entre 43 e 51 mg/kg, sendo que o cultivar Crioula apresentou o teor máximo encontrado, diferindo significativamente ($P < 0,01$) do cultivar CUF 101 (Tabela 16). Em estudos conduzidos em casa de vegetação, a aplicação de zinco reduziu a absorção de boro em solo com baixa disponibilidade de boro, possivelmente interferindo no transporte desse nutriente pela planta (HANSON, 1988). Isso não ocorreu neste trabalho, onde tanto o teor de boro como o de zinco foram superiores aos teores reconhecidos como deficientes na alfafa.

A concentração adequada de manganês na parte aérea da planta situa-se entre 25 a 200 mg/kg, segundo HANSON (1972). No presente trabalho, encontraram-se teores de manganês variando de 80 a 93 mg/kg e de 68 a 81 mg/kg, no primeiro corte e segundo corte, respectivamente (Tabela 15 e 16). Ocorreram diferenças significativas ($P < 0,01$) entre os cultivares sendo que o cultivar que se destacou pelas maiores concentrações é o Moapa no primeiro e no segundo corte, mas que não revelou interferência na absorção do cálcio. FRIED & PEECH (1946) encontraram boa indicação de que o manganês, que

é facilmente absorvido pela planta, pode impedir a absorção do cálcio.

Resultados conflitantes encontrados na literatura quanto à concentração normal de manganês da alfafa durante o crescimento, parecem resultar do fato de que a absorção de manganês é influenciada consideravelmente por alguns fatores do solo, particularmente pelo pH e drenagem. Isso será discutido posteriormente.

As espécies de plantas diferem bastante quanto ao seu conteúdo de cobre. Essa diferença é influenciada pela disponibilidade desse elemento no solo e sabe-se que deficiências são significativas para alfafa. ANDREW & THORNE (1962) consideraram a concentração de 5 mg/kg satisfatória, enquanto abaixo de 4 mg/kg apontaram deficiência desse micronutriente. Neste trabalho encontraram-se teores de cobre que variaram de 20 a 23 mg/kg no primeiro corte (Tabela 15) com diferença significativa ($P < 0,05$) entre os cultivares Crioula (23 mg/kg) e CUF 101 (20 mg/kg). No segundo corte não houve diferença significativa ($P > 0,05$) entre os cultivares para essa variável, enquanto os teores encontrados foram de 37 e 38 mg/kg (Tabela 16). Isso concorda com o trabalho de MAIER & EARLEY (1965) no qual eles reportaram que o cobre em níveis variando entre 16 e 36 mg/kg seriam considerados normais.

Ainda em relação aos cultivares, não houve diferença significativa ($P > 0,05$) quanto aos teores de

ferro na parte aérea das plantas.

Os resultados obtidos nas análises químicas das amostras da parte aérea da planta para macronutrientes no material do primeiro corte, em função da calagem e do potássio, são apresentados na Tabela 13, e suas respectivas equações de regressão nas Tabelas 17 e 18.

Para os níveis de calcário testados não houve diferença significativa ($P > 0,05$) para os teores de fósforo, potássio, cálcio e enxofre na planta (Tabela 13), no primeiro corte. Para magnésio o efeito foi linear e sua equação de regressão está na Tabela 17.

Para as doses de potássio aplicadas o efeito foi quadrático para os teores de fósforo, magnésio e potássio na forragem do primeiro corte (Tabela 13). O ponto de mínimo teor ocorreu com 252 kg K/ha para fósforo, 282 kg K/ha para magnésio, enquanto 290 kg K/ha foi encontrado como ponto de máximo para a concentração máxima de potássio. As figuras 14, 15 e 16 mostram esses resultados e suas equações de regressão estão na Tabela 18. Para os teores de cálcio (Figura 17), e enxofre, em função dos níveis de potássio, os resultados mostraram decréscimo significativo ($P < 0,01$) e linear (Tabela 13), cujas equações de regressão encontram-se na Tabela 18.

Merece destaque especial o sintoma visual de deficiência de potássio na planta, nos tratamentos que não receberam adubação potássica, ocorrendo redução do

crescimento seguido de clorose e necrose das folhas.

Interações importantes com reflexos na produção são observadas principalmente entre potássio, cálcio e magnésio. As reações das plantas ao potássio são mais acentuadas na presença de calcário, confirmando a importância de se considerar o equilíbrio de bases trocáveis no critério de recomendação de adubação potássica (YAMADA, 1986).

A adubação potássica interferiu negativamente nos teores de cálcio encontrados na parte aérea da planta (Figura 16), no primeiro corte. Em função das doses de calcário empregadas não se detectou significância ($P > 0,05$) para os teores de potássio, em ambos os cortes (Tabela 13 e 14).

O conhecimento dos efeitos de outros íons na nutrição potássica é importante, não só para se maximizar a eficiência do uso de potássio, mas também para se saber como os níveis de outros íons vão alterar as recomendações feitas aos agricultores sobre o emprego de adubo potássico.

As concentrações de potássio, em função dos níveis de calcário, encontradas no material colhido ficaram entre 1,17 a 1,20% e são considerados normais. As forragens removidas do campo podem conter entre 1 a 3% de potássio na matéria seca, segundo HANSON (1972) e YAMADA (1986).

Figura 14 - Porcentagem de fósforo na parte aérea da alfafa, no material colhido no primeiro corte, em função do potássio aplicado.

Figura 15 - Porcentagem de magnésio na parte aérea da alfafa, no material colhido no primeiro corte, em função do potássio aplicado.

Figura 16 - Porcentagem de potássio na parte aérea da alfafa, no material colhido no primeiro corte, em função do potássio aplicado.

Figura 17 - Porcentagem de cálcio na parte aérea da alfafa, no material colhido no primeiro corte, em função do potássio aplicado.

Entre os outros macronutrientes, os teores de fósforo e cálcio tiveram variações significativas ($P < 0,05$) e quadráticas (Tabela 14 e Figuras 18 e 19) no segundo corte, em função da calagem e as respectivas equações de regressão constam na Tabela 19. Para o fósforo, o efeito quadrático revelou um ponto de mínimo para a dose de calcário de 2273 kg/ha. Para os teores de cálcio o efeito quadrático permitiu obter o ponto de máximo com a dose de 1764 kg/ha (Tabela 19).

Os teores de enxofre encontrados no material colhido no segundo corte, não apresentaram significância para os níveis de calagem empregados (Tabela 14). Quanto aos teores de magnésio o efeito foi linear com significância a 1%, tal como ocorreu no primeiro corte.

Para os níveis de potássio aplicados no segundo corte (Tabela 14), os resultados das análises para os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio revelaram significâncias ($P < 0,01$) e efeitos quadráticos. Na Tabela 20, são apresentadas as equações de regressão e os coeficientes de determinação. Pode-se constatar que somente para os teores de potássio o efeito quadrático permitiu obter um ponto de máximo em 233 kg K/ha (Figura 20). Para os teores de enxofre o efeito foi significativo ($P < 0,05$) e quadrático (Tabela 20).

Os teores de boro, cobre, ferro, manganês e zinco encontrados na parte aérea da alfafa, no primeiro e

Figura 18 - Porcentagem de fósforo na parte aérea da alfafa no material colhido no segundo corte em função do calcário aplicado.

Figura 19 - Porcentagem de cálcio na parte aérea da alfafa no material colhido no segundo corte em função do calcário aplicado.

Figura 20 - Porcentagem de potássio na parte aérea da alfafa, no material colhido no segundo corte em função do potássio aplicado.

segundo corte são apresentados nas Tabelas 15 e 16. Para as doses de calcário aplicadas, os teores de cobre não apresentaram significância ($P > 0,05$) no primeiro e segundo corte (Tabela 15 e 16). Também não houve significância ($P > 0,05$) para os teores de boro e de zinco no material colhido do segundo corte (Tabela 16).

A concentração de boro na parte aérea dessa leguminosa, no primeiro corte (Tabela 15), mostrou acréscimos até o mais alto nível de calagem testado, o que resultou em efeito linear da calagem (Tabela 17 e Figura 21). A alfafa parece particularmente suscetível à deficiência de boro, e esse micronutriente pode ficar indisponível no solo em função do excesso de calagem, o que resulta na redução de absorção pelas plantas (HANSON, 1972). Isto não ocorreu neste trabalho, uma vez que teores médios encontrados foram de 45,0 a 50,5 mg/kg; valores estes distantes dos valores considerados deficientes (7 a 23 mg/kg) para alfafa, por HANSON (1972).

À medida que se acrescentou o calcário ao solo, os teores de zinco decresceram linearmente no material colhido no primeiro corte (Tabela 15). Redução na concentração de zinco em consequência da aplicação de calcário foi relatada por MALAVOLTA (1980).

A calagem diminuiu a disponibilidade de ferro, no segundo crescimento da leguminosa (Tabela 16) e resultou em um efeito linear negativo na planta (Tabela 18). A

concentração desse nutriente no material do segundo corte foi significativamente ($P < 0,05$) reduzida pelo emprego do corretivo no solo. A absorção de ferro diminuiu quando aumentou a concentração de cálcio e magnésio (entre outros minerais). Na planta em desenvolvimento e na adulta, não se dá praticamente a redistribuição do ferro, e como consequência, a lâmina foliar fica clorótica (MALAVOLTA, 1980).

A ausência de calagem e a calagem excessiva podem resultar em toxidez e deficiência de manganês, respectivamente (MALAVOLTA, 1976). Resultados de pesquisa tem mostrado variações no nível tóxico para alfafa, podendo este ser alcançado a partir de 175 mg/kg (OVELLETTE & DESSUREAUX, 1958) ou 380 mg/kg (ANDREW & HEGARTY, 1969). O material colhido no primeiro corte (Tabela 15) apresentou, para os níveis de calagem, teores de manganês variando entre 66,5 e 106,8 mg/kg e mostrando um efeito quadrático (Figura 22). A alfafa é uma cultura bastante responsiva à calagem, pois como um dos efeitos reduz a disponibilidade de manganês no solo e sua concentração na parte aérea da alfafa a níveis não tóxicos.

Os teores de manganês, em função dos níveis de calagem, encontrados no material do segundo corte (Tabela 16 e Figura 23) foram de 56,9 a 96,6 mg/kg e caracterizou-se por um efeito quadrático (Tabela 19) e significativo ($P < 0,05$). Segundo HANSON (1972), a concentração de manganês normalmente

Figura 21 - Teor de boro na parte aérea da alfafa no material colhido no primeiro corte em função do calcário aplicado.

Figura 22 - Teor de manganês na parte aérea da alfafa no material colhido no primeiro corte em função do calcário aplicado.

Figura 23 - Teor de manganês na parte aérea da alfafa no material colhido no segundo corte em função do calcário aplicado.

encontrada na parte aérea da alfafa, fica entre 25 a 200 mg/kg. Trabalhos conflitantes na literatura sobre a concentração adequada desse nutriente na alfafa durante o crescimento, resultam do fato de que a absorção de manganês é consideravelmente influenciada pelos fatores do solo, particularmente o pH e a umidade. As deficiências comumente estão associadas aos solos que receberam elevadas quantidades de corretivos.

A aplicação de potássio favoreceu a absorção de manganês, no primeiro e segundo corte (Tabelas 15 e 16 e Figuras 24 e 25), e o efeito foi linear para ambos os cortes (Tabela 18 e 20). Isto concorda com os resultados de KORNELIUS (1972) e RANDO (1972).

Os resultados relativos aos teores de ferro, considerando a aplicação das doses de potássio, encontram-se nas Tabelas 15 e 16, para o primeiro e segundo corte, respectivamente. Esses resultados revelaram a não significância na variação daqueles teores em função da adubação potássica.

No primeiro corte confirmou-se o efeito linear e negativo para os teores de boro encontrados, para os níveis de adubação potássica (Tabela 15 e Figura 26). Por ocasião do segundo corte se obteve significância para esse efeito (Tabela 16).

Houve um incremento linear para os teores de zinco no segundo corte (Tabela 16) e um efeito quadrático no

primeiro corte (Tabela 15), em função das doses de potássio aplicadas. As equações de regressão encontram-se nas Tabelas 18 e 20, respectivamente.

No primeiro corte não existiu diferença significativa ($P > 0,05$) para os teores de cobre em função da aplicação da adubação potássica (Tabela 15). Verificou-se um efeito linear e negativo para o material colhido no segundo corte (Tabela 16), com sua equação encontrando-se na Tabela 20.

Figura 24 - Teor de manganês na parte aérea da alfafa no material colhido no primeiro corte em função do potássio aplicado.

Figura 25 - Teor de manganês na parte aérea da alfafa no material colhido no segundo corte em função do potássio aplicado.

Figura 26 - Teor de boro na parte aérea da alfafa no material colhido no primeiro corte em função do potássio aplicado.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho pode-se apontar as seguintes conclusões:

1. Os cultivares Florida 77 e CUF 101, mostraram maior produção de matéria seca que os cultivares Crioula e Moapa, no primeiro corte do experimento;

2. O cultivar Florida 77 teve menor produção de matéria seca de raízes que os cultivares Crioula, Moapa e CUF 101;

3. Os níveis de corretivo de acidez e de cloreto de potássio utilizados propiciaram incrementos significativos na produção de matéria seca e na quantidade total de nitrogênio nos cultivares de alfafa;

4. No primeiro crescimento da alfafa não se conseguiu atingir a máxima produção de matéria seca, com as doses de calcário empregadas. Para máxima produção de

matéria seca (parte aérea e raízes) e quantidade total de nitrogênio da alfafa, a calagem necessária variou de 2.200 a 2.750 kg/ha e a porcentagem de saturação por bases do solo no momento do plantio variou de 54,0 a 67,5%;

5. A máxima produção de matéria seca (parte aérea e raízes) e quantidade total de nitrogênio da alfafa foi alcançada com a aplicação de 100 a 185 kg K/ha;

6. Na ausência de aplicação de potássio, a alfafa mostrou sintomas visuais de deficiência desse nutriente, independentemente dos cultivares e dos níveis de calagem aplicados;

7. As aplicações de calcário e potássio, nos níveis utilizados, promoveram alterações nas concentrações de macro e micronutrientes, porcentagem de nitrogênio e quantidade total de nitrogênio analisados na parte aérea da alfafa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, F. & PEARSON, R.W. Crop response to lime in the southern United States and Puerto Rico. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F., ed. Soil acidity and liming. Madison, American Society of Agronomy, 1967. cap. 4, p.162-206.
- ALCARDE, J.C. Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo. In: RAIJ, B. van; BATAGLIA, D.C.; SILVA, N.M. da, ed. Acidez e calagem no Brasil. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983. p.11-22.
- ALLAWAY, H. & PIERRE, W.H. Availabitily, fixation and liberation of potasssium in high - lime soils. Journal of American Society of Agronomy, Madison, 31:940-53, 1939.
- ANDREW, C.S. & HEGARTY, M.P. Comparative responses to manganese excess of eight tropical and four temperate pasture legume species. Australian Journal of Agricultural Research, East Melbourne, 20: 687-96, 1969.

ANDREW, C.S. & ROBINS, M.F. The effect of potassium on the growth and chemical composition of some tropical and temperature pasture legumes. *Australian Journal of Agricultural Research*, East Melbourne, 20:999-1007, 1969.

ANDREW, C.S. & THORNE, P.M. Comparative responses to copper of some tropical and temperate pastures legumes. *Australian Journal of Agricultural Research*, East Melbourne, 13(5):821-35, 1962.

ARAÚJO FILHO, J.A. de; GADELHA, J.A.; PEREIRA, R.M.A.; HAINES, C.E. Competição entre 11 variedades de alfafa (*Medicago sativa* L.). *Ciência Agronômica*, Fortaleza, 1(2):81-8, dez. 1971.

ARNON, I. Mineral nutrition of maize. Bern, International Potash Institute, 1975. 452p.

ATTOE, O.J. Potassium fixation and release in soils occurring under moist and drying conditioning. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 11:145-9, 1946.

BARBARICK, K.A. Potassium fertilization of alfalfa grown on a soil high in potassium. *Agronomy Journal*, Madison, 77(3):442-5, May/June 1985.

- BASSOLS, P.A. & PAIM, N.R. Estudo comparativo de cultivares de alfafa (*Medicago sativa* L.) introduzidas no Rio Grande do Sul. In: INSTITUTO DE PESQUISAS DE ZOOTECNIA "FRANCISCO OSÓRIO". Anuário técnico - 1978. Porto Alegre, 1978. p.349-417.
- BLUME, J.M. & PURVIS, E.R. Fixation and release of potassium on three coastal plain soils. *Journal of American Society of Agronomy*, Madison, 31:857-68, 1939.
- BOLTON, J.L.; GOPLIN, B.P.; BAENZIGER, H. World distribution and historical developments. In: HANSON, C.H., ed. *Alfalfa science and technology*. Madison, American Society of Agronomy, 1972. p. 143-66.
- BRAUNER, J.L. & GARCEZ, J.R.B. Lixiviação de potássio, cálcio e magnésio em solos do Rio Grande do Sul submetidos à calagem avaliada em condições de laboratório. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 6:89-93, 1982.
- BULL, L.T. Influência da relação $K/(Ca + Mg)$ do solo na produção de matéria seca e na absorção de potássio por gramínea e leguminosa forrageira. Piracicaba, 1986. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

- CAMARGO, O.A. & RAIJ, B. van. Relações entre alumínio trocável, bases trocáveis e pH em solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15., Campinas, 1975. Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. 1976. p.95-101.
- CARMELLO, G.A.C. Saturação por bases e relações entre K, Ca, Mg no solo na nutrição potássica do milho (*Zea mays* L.) cv. Piranão. Piracicaba, 1989. 105p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- CATANI, R.A. & GALLO, R.J. Avaliação da exigência em calcário dos solos do Estado de São Paulo mediante correlação entre pH e a porcentagem de saturação em bases. *Revista da Agricultura*, Piracicaba, 30:49-60, 1955.
- COLLINS, M. & STANLEY, H. Influence of potassium fertilization rate and form on photosynthesis and N₂ fixation of alfalfa. *Crop Science*, Madison, 21(4):481-5, July/Ago. 1981.
- CRUZ, E.S. & STAMMEL, J.G. Efeito residual da calagem em solos de diferentes classes texturais. *Anuário Técnico do IPZFO*, Porto Alegre, 5(1):225-310, ago. 1978.

DEFELIPO, B.V. & BRAGA, J.M. Influência da calagem e fontes de potássio na adsorção de potássio em latossolos em Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 7:119-22, 1983.

DEL POZO, M. La alfafa, su cultivo y aprovechamiento. Madrid, Mundi Prensa, 1971. 189p.

FRANCO, A.A. & DOBEREINER, J. Especificidade hospedeira na simbiose com *Rhizobium* - feijão e influência de diferentes nutrientes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 2:467-74, 1967.

FREITAS, L.M.M. de & PRATT, P.F. Respostas de três leguminosas à calcário em diversos solos ácidos de São Paulo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 4:89-95, 1969.

FRIED, M. & PEECH, M. The comparative effects of lime and gypsum upon plants grown on acid soils. *Journal of American Society of Agronomy*, Madison, 38(7):614-23, July 1946.

- GOEDERT, W.J.; COREY, R.B.; SYERS, J.K. The effects on potassium equilibria in soils of Rio Grande do Sul, Brazil. *Soil Science*, Baltimore, 120:107-11, 1975.
- GOMES, F.P. *Curso de estatística experimental*. 4.ed. São Paulo, Nobel, 1970. 430p.
- HANSON, C.H., ed. *Alfalfa science and technology*. Madison, American Society of Agronomy, 1972. 812p. (Agronomy, 15).
- HANSON, A.A., ed. *Alfalfa and alfalfa improvement*. Madison, American Society of Agronomy, 1988. 1084p.
- HAVLIN, J.L. & WESTFALL, D.G. Potassium release kinetics and plant response in calcareous soil. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, 49:366-70, 1985.
- HONDA, C.S. & HONDA, A.M. *Cultura da alfafa*. Cambará, IARA Artes Gráficas, 1990. 245p.
- JACKSON, T.L.; WESTERMANN, D.T.; MOORE, D.P. The effect of chloride and lime on the manganese uptake by bush beans and sweet corn. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 30(1):70-3, Jan./Feb. 1966.

- JOHN, M.; CASE, V.W.; VANLAERHOVEN, C. Liming of alfafa (*Medicago sativa* L.) I. Effect on plant growth and soil properties. *Plant and Soil*, The Hague, 37:353-61, 1972.
- JONES, M.B. & FREITAS, L.M.M. de. Respostas de quatro leguminosas tropicais a fósforo, potássio e calcário num Latossolo Vermelho-Amarelo de campo cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 5:91-9, 1970.
- JONES, M.B.; QUAGLIATO, J.L.; FREITAS, L.M.M. de. Respostas de alfafa e algumas leguminosas tropicais a aplicações de nutrientes minerais, em três solos de campo de cerrado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, 5:209-14, 1970.
- KELLING, K.A. & ERICKSON, T. Efectos que ejerce la fertilización con P, K y S sobre la favorable sementea de la alfafa, la supervivencia invernal de las plantas y el rendimiento. *Revista de la Potassa*, Berna, 16(4):3-4, 1984.
- KORNELIUS, E. Influência da calagem e da adubação fosfatada e potássica na produção da alfafa (*Medicago sativa* L.) em seis solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1972. 148p. (Mestrado - Universidade Federal do Rio Grande do Sul).

- LEACH, G.L. & CLEMENTS, R.J. Ecology and grazing management of alfalfa pastures in the subtropics. *Advances in Agronomy*, New York, 37:127-54, 1985.
- LOVADINI, L.A.C.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A. Efeito de níveis de calagem, fósforo e potássio na produção de matéria seca de soja perene (*Glycine wightii*) em solos de cerrado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 1:31-4, 1977.
- MAGDORFF, F.R. & BARTLETT, R.J. Effects of liming acid soils on potassium availability. *Soil Science*, Baltimore, 129(1):12-4, Jan. 1980.
- MAIER, R.H. & EARLEY, E.B. The concentration of copper in anatomical parts of several plants. *Life Sciences*, Elmsford, 4(17):1715-9, 1965.
- MALAVOLTA, E. Manual de química agrícola; nutrição de plantas e fertilidade do solo. Piracicaba, Agronômica Ceres, 1976. 528p.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. Piracicaba, Ceres, 1980. 251p.

- MARKUS, D.K. & BATTLE, W.R. Soil and plant responses to long term fertilization of alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Agronomy Journal*, Madison, 57:613-6, 1965.
- MCLEAN, E.O. & CARBONELL, M.D. Calcium, magnesium and potassium saturation ratios in two soils and their effects upon yields and nutrient contents of german millet and alfalfa. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, 36:927-30, 1972.
- MEDEIROS, R.B. de & ZAMBRA, J.E.G. Rendimento de matéria seca de cultivares de alfafa na região das Missões/RS. In: COTRIJUI. Resultados de experimentação e pesquisa no CTC - 1976-86. Ijuí, 1987. p.182-7.
- MICHAUD, R.; LEHMAN, W.F.; RUMBAUGH, M.D. World distribution and historical development. In: HANSON, A.A., ed. *Alfalfa and alfalfa improvement*. Madison, American Society of Agronomy, 1988. p.25-91.
- MIELNICZUK, J. Formas de potássio em solos do Brasil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 1:55-61, 1977.

- NUERNBERG, N.J. Técnicas de produção da alfafa. In:
CONGRESSO BRASILEIRO DE PASTAGENS, n^o 8., Piracicaba,
1986. Anais. Piracicaba, FEALQ, p.145-60.
- OLIVEIRA, P.R.D. de; & CORSI, M. Avaliação da produção e da
qualidade de cultivares de alfafa (*Medicago sativa* L.).
Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia, Viçosa,
16:382-93, 1987.
- OLIVEIRA, P.R.D. de. Avaliação da produção e da qualidade de
cultivares da alfafa (*Medicago sativa* L.). Piracicaba,
1986. 75p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz
de Queiroz"/USP).
- OVELETTE, G.J. & DESSUREAUX, L. Chemical composition of
alfalfa as related to degree of tolerance to manganese and
aluminium. Canadian Journal of Plant Science, Ontario,
38:206-14, 1958.
- PENA, J.A.G. Cálcio, magnésio e potássio no solo e em
plantas de algodão, utilizando magnesita calcinada e
cloreto de potássio, em três níveis de calagem. Viçosa,
1991. 79p. (Mestrado - Universidade Federal de Viçosa).

- QUAGGIO, J.A. Resposta das culturas à calagem. In: SEMINÁRIO SOBRE CORRETIVOS AGRÍCOLAS, Piracicaba, 1984. Campinas, Fundação Cargill, 1985. cap.4, p.123-54.
- RAIJ, B. van; SILVA, N.M. da; BATAGLIA, O.C.; QUAGGIO, J.A.; HIROCE, R.; CANTARELLA, H.; BELLINAZZI Jr., R.; DECHEN, A.R.; TRANI, P.E. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, Instituto Agrônômico de Campinas. 1985. 107p. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo, Agronômica Ceres; Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van. & CAMARGO, O.A. Influência das bases trocáveis na lixiviação de potássio em colunas de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 14., Santa Maria, 1973. Anais. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1974. p.263-8.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. Análise química do solo para fins de fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.

- RANDO, E.M. Desenvolvimento da alfafa (*Medicago sativa* L.) em diferentes níveis de pH, potássio e enxofre no solo. Piracicaba, 1992. 220p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- RICCI, M.S.F.; DEFELIPO, B.V.; COSTA, L.M.; REZENDE, S.B. As frações granulométricas do solo como reserva de potássio para as plantas. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, 13:181-6, 1989.
- RITCHEY, K.D. O potássio nos oxissolos e ultissolos dos trópicos áridos. Piracicaba, POTAFÓS, 1982. 69p. (Boletim Técnico, 7).
- ROBSON, A.D. & LONERAGAN, J.F. Sensitivity of annual *Medicago* species to manganese toxicity as affected by calcium and pH. *Australian Journal of Agricultural Research*, East Melbourne, 21(8):223-32, 1970.
- SAIBRO, J.C. de. Produção de alfafa no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS, 7., Piracicaba, 1985. Anais. Piracicaba, FEALQ, 1985. p.61-106.

- SAIBRO, J.C. de.; MARASCHIN, G.E.; BARRETO, I.L.; STAMMEL, J.G.; GOMES, D.B.; Avaliação preliminar de cultivares de alfafa (*Medicago sativa* L.) no Rio Grande do Sul. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Faculdade de Agronomia. Relatório de pesquisa, 1965/71. Porto Alegre, 1972. p.57-60.
- SANZONOWICZ, C. & VARGAS, A.A.T. Efeito do calcário e do potássio na produção e na composição química do *Stylosanthes guyanensis* em um latossolo vermelho-escuro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 4:165-9, 1980.
- SARRUGE, J.R. & HAAG, H.P. Análises químicas em plantas. Piracicaba, ESALQ, 1974. 56p.
- SCHULTE, E.E. & COREY, R.B. Extraction of potassium from soils with sodium tetraphenyl-borom. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 29:33-5, 1965.
- SILVA, N.H.; CARVALHO, L.H.; HIROCE, R.; KONDO, T.I. Resposta do algodoeiro à aplicação de calcário e de cloreto de potássio. Bragantia, Campinas, 42(2):643-58, 1984.

- SILVA, R.B.V. & STAMMEL, J.C. Informe preliminar sobre o efeito da aplicação de calcário, fósforo e potássio no estabelecimento de alfafa (*Medicago sativa* L.) num solo ácido do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, UFRGS/Faculdade de Agronomia e Veterinária, 1969. 53p.
- SIQUEIRA, O.J.F. de., coord. Recomendação de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo, EMBRAPA/CNPT, 1987. 100p.
- STAMMEL, J.G. & KORNELIUS, E. Efeitos da aplicação de KCl sobre a produção de alfafa e propriedades químicas de solos do Rio Grande do Sul. *Agronomia Sul Riograndense*, Porto Alegre, 9(1):71-84, 1973.
- WASSERMANN, V.D. & BERG, M. van den. Comparative response of lucerne (*Medicago sativa* L.) and sainfoin (*Onobrychis vicia folia* Scop.) to applications of P, K and lime. *South African Tydskr Plant Grond*, Pretoria, 7(1):76-80, 1990.
- WERNER, J.C. Adubação de pastagens. In: ENCONTRO DE ATUALIZAÇÃO EM PASTAGENS, 1, São Paulo, 1977, p.43-63.

YAMADA, T. Potássio: funções na planta, dinâmica no solo, adubos e adubação potássica. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO SOB CONDIÇÕES DE CULTIVO REDUZIDO. Santa Maria, 1986. Anais. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 1986. p.K2-K21.

YAMADA, T. Potássio: dinâmica e disponibilidade no solo. In: CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM FERTILIDADE DO SOLO, Ilha Solteira, 1987. Campinas, Fundação Cargill, 1987. p.183-201.

YORK Jr., E.T. & ROGERS, H.T. Influence of lime on the solubility of potassium in soils and on its availability to plants. Soil Science, Baltimore, 63:467-77, 1947.

YORK Jr., E.T.; BRADFIELD, R.; PEECH, G.M. Calcium-potassium interactions in soils and plants: I. Lime-induced potassium fixation in mardin silt loam. Soil Science, Baltimore, 77(1):379-87, Jan. 1954a.

YORK Jr., E.T.; BRADFIELD, R.; PEECH, G.M. Influence of lime and potassium on yield and cation composition of plants. Soil Science, Baltimore, 77(1):53-63, Jan. 1954b.