

DESENVOLVIMENTO DA ALFAFA (*Medicago sativa* L.) EM
DIFERENTES NÍVEIS DE pH, POTÁSSIO E ENXOFRE NO SOLO

EDUARDO MENEGHEL RANDO
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. RONALDO IVAN SILVEIRA

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

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Fevereiro - 1992

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

Rando, Eduardo Meneghel

R192d Desenvolvimento da alfafa (Medicago sativa L.) em
diferentes níveis de pH, potássio e enxofre no solo.
Piracicaba, 1992.
220p. ilus.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Alfafa - Adubação 2. Enxofre em solo 3. pH em
solo 4. Potássio em solo 5. Solo - Nutrição 1. Escola
Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 633.31

DESENVOLVIMENTO DA ALFAFA (*Medicago sativa* L.) EM
DIFERENTES NÍVEIS DE pH, POTÁSSIO E ENXOFRE NO SOLO

EDUARDO MENEGHEL RANDO

Aprovada em: 19/03/1992

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Ronaldo Ivan Silveira

ESALQ/USP

Prof. Dr. Antonio Roque Dechen

ESALQ/USP

Prof. Dr. Godofredo Cesar Vitti

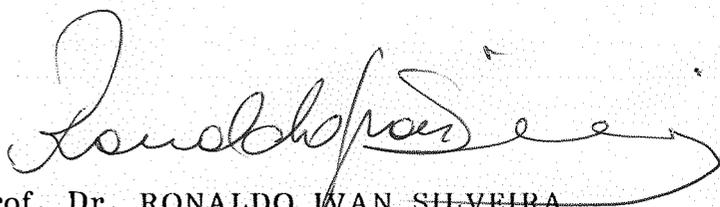
ESALQ/USP

Dr. Tsuioshi Yamada

POTAFOS

Dr. Dilson Augusto Capucho Frazão

EMBRAPA/CPATU



Prof. Dr. RONALDO IVAN SILVEIRA

Orientador

Aos meus pais,

Augusta e José (in memoriam)

esposa,

Jacl

e filhas,

Roberta e Bruna

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Ronaldo Ivan Silveira, pela orientação e amizade dedicada durante o curso.

À Fundação Faculdade de Agronomia "Luiz Meneghel" (FFALM), por ter proporcionado condições para a realização do curso.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (USP) e aos seus docentes, pelo curso oferecido.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudo.

Aos Professores Geraldo Victorino de França e Godofredo Cesar Vitti, pelas diversas formas de incentivo e amizade demonstrados.

Aos Professores Maria Aparecida Valério e Walter Candioto, da FFALM, pela valiosa participação no processamento e análise estatística dos dados.

Aos laboratoristas Marlei Regina Perez Silik e João Álvaro Ramos Granja (ESALQ) e Orlando Thumaz e Hélio Ferreira da Silva (FFALM), pela execução de análises químicas de solo e plantas.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xx
SUMMARY	xxiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1. Considerações gerais sobre a cultura	7
2.2. Composição química	10
2.3. Fatores que afetam a necessidade de nu- trientes	15
2.3.1. Nível de produção	16
2.3.2. Manejo da cultura	16
2.3.3. Clima	19
2.4. Solo e nutrição mineral da alfafa	20
2.4.1. Acidez e calagem	21
2.4.1.1. Causas da baixa fertili- dade dos solos ácidos e seus reflexos sobre o de- senvolvimento da alfafa	22
2.4.1.2. Influência da acidez no comportamento do Al no solo e na planta	24
2.4.1.3. Influência da acidez no comportamento do Mn no solo e na planta	29
2.4.1.4. Influência da acidez do solo na associação sim- biótica entre <i>Medicago</i> <i>sativa</i> L. e <i>Rhizobium me-</i> <i>liloti</i>	34

	Página
2.4.2. Enxofre	39
2.4.2.1. Enxofre no solo	40
2.4.2.2. Enxofre na planta	48
2.4.3. Potássio	54
2.4.3.1. Potássio no solo e produ ção da alfafa	55
2.4.3.2. Potássio na planta	60
3. MATERIAL E MÉTODOS	71
3.1. Localização e aspectos climáticos da re- gião	71
3.2. Solo	71
3.3. Procedimento experimental	73
3.3.1. Delineamento	73
3.3.2. Tratamentos	74
3.3.2.1. Níveis de pH	74
3.3.2.2. Níveis de potássio	74
3.3.2.3. Níveis de enxofre	74
3.3.3. Condução do experimento	75
3.3.4. Avaliação	77
3.3.4.1. Altura de plantas	77
3.3.4.2. Número de perfilhos	77
3.3.4.3. Análise da composição química das plantas	78
3.3.4.4. Diâmetro da raiz	79
3.3.4.5. Peso de raízes	80
3.3.4.6. Produção de massa seca	80
3.3.4.7. Níveis críticos de potás sio e enxofre na planta	80
3.3.5. Análise estatística	81
4. RESULTADOS	83
4.1. Alterações químicas no solo após a apli- cação do corretivo e fertilizantes	83

Página

4.2. Efeitos sobre a altura de plantas	87
4.3. Efeitos sobre o número de perfilhos	94
4.4. Efeitos sobre o diâmetro da raiz	99
4.5. Efeitos sobre o peso de massa seca das raízes	101
4.6. Efeitos sobre a produção de massa seca	104
4.7. Efeitos sobre a concentração e o conteú- do de nitrogênio na parte aérea	113
4.8. Efeitos sobre a concentração e o conteú- do de enxofre na parte aérea	123
4.9. Efeitos sobre a concentração e o conteú- do de potássio na parte aérea	135
5. DISCUSSÃO	145
5.1. Níveis críticos de potássio e enxofre na planta	173
5.2. Alterações no pH e teores de potássio e enxofre do solo após o último corte da alfafa	179
6. CONCLUSÕES	183
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	185

LISTA DE FIGURAS

Página

- Figura 1 - Variação mensal do teor de carboidratos disponíveis total em raízes de alfafa submetidas a um regime de cortes (linha pontilhada) na fase de botão floral (a), 10% de florescimento (b) e 30% de florescimento (c) e sem cortes (linha cheia) 9
- Figura 2 - Relação K_2O removido: K_2O aplicado em sistemas de manejo médio e intensivo de alfafa 56
- Figura 3 - Teor de enxofre na parte aérea da alfafa cultivada no solo pouco ácido (pH_2), no primeiro (a), segundo (b), terceiro (c) e quarto (d) cortes, em função das doses de enxofre aplicadas dentro de cada nível de potássio 126
- Figura 4 - Teor de K na parte aérea da alfafa no primeiro (a), segundo (b), terceiro (c) e quarto (d) cortes, em função de doses de K aplicados, dentro de cada nível de enxofre utilizado (nível pH_2) 136
- Figura 5 - Concentração de manganês na parte aérea da alfafa cultivada no solo com alta acidez (pH_1), nos quatro cortes, em função do potássio aplicado 147

Figura 6 - Produção de massa seca de alfafa no segundo (a), terceiro (b) e quarto (c) cortes, em função de doses de potássio, dentro de cada nível de enxofre	161
Figura 7 - Produção de massa seca de alfafa no segundo (a), terceiro (b) e quarto (c) cortes, em função de doses de enxofre, dentro de cada nível de potássio	162
Figura 8 - Produção de massa seca total em função de doses de potássio (a) e enxofre (b)	163
Figura 9 - Teor de nitrogênio na parte aérea da alfafa no primeiro corte, em função da aplicação de potássio no solo com 15 e 60 ppm de S adicionados	167
Figura 10 - Concentração de nitrogênio na parte aérea da alfafa nos três últimos cortes, em função de doses de enxofre	169
Figura 11 - Teor de cálcio na parte aérea da alfafa no primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) cortes, em função de potássio aplicado no solo em dois níveis de pH	171

- Figura 12 - Teor de magnésio na parte aérea da alfafa no primeiro (a), segundo (b), terceiro (c) e quarto (d) cortes, em função de doses de potássio aplicadas nos solos com alta (pH_1) e baixa (pH_2) acidez 172
- Figura 13 - Correlações obtidas entre produção de matéria seca e a concentração de potássio e enxofre em toda a parte aérea da planta (PT) e só na metade superior (MS) no segundo (a) e terceiro (b) cortes 177
- Figura 14 - Relação N/S e produção de massa seca de alfafa no segundo (1), terceiro (2) e quarto (3) cortes 178

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1 - Produção de alfafa forrageira no Brasil e contribuição relativa dos principais estados produtores no ano de 1980	2
Tabela 2 - Produção de alfafa no estado do Paraná e Bandeirantes, e a contribuição relativa deste município na produção total do estado	3
Tabela 3 - Composição mineral de quatro cultivares de alfafa (média de quatro colheitas)	13
Tabela 4 - Nutrientes removidos por algumas leguminosas	14
Tabela 5 - Produção de alfafa e exportação de nutrientes em diferentes níveis de fósforo e potássio aplicados	17
Tabela 6 - Concentração mineral em folhas e caules da alfafa em segmentos de 10 cm até o ápice da planta	19
Tabela 7 - Efeito da calagem e de 3 dias de inundação na produção de massa seca e concentração de Mn na alfafa	31
Tabela 8 - Resultados de análises físicas do solo	72

Tabela 9 - Resultados da análise química do solo na camada de 0-20 cm	72
Tabela 10 - Resultados da análise química do solo após a aplicação do corretivo e fertilizantes. ESALQ, Piracicaba, 1990	84
Tabela 11 - Valores médios de pH, potássio e enxofre determinados no solo após a adição do corretivo e fertilizantes	86
Tabela 12 - Médias dos parâmetros analisados obtidos nos dois níveis de pH testados	88
Tabela 13 - Médias de altura de plantas por ocasião do segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	91
Tabela 14 - Médias de altura de plantas por ocasião do terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	92
Tabela 15 - Médias de altura de plantas por ocasião do quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	93
Tabela 16 - Médias do número de perfilhos registradas por ocasião do segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	96

Tabela 17 - Médias do número de perfilhos registrados por ocasião do terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	97
Tabela 18 - Médias do número de perfilhos registrados por ocasião do quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	98
Tabela 19 - Médias do número total de perfilhos produzidos, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	100
Tabela 20 - Médias do diâmetro de raiz em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	102
Tabela 21 - Médias do peso de massa seca da raiz em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	103
Tabela 22 - Médias de produção de massa seca relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	105
Tabela 23 - Médias de produção de massa seca relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	107

Tabela 24 - Médias de produção de massa seca relativas ao terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	109
Tabela 25 - Médias de produção de massa seca relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	110
Tabela 26 - Médias da produção total de massa seca, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	112
Tabela 27 - Médias da concentração de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	114
Tabela 28 - Médias do conteúdo de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	116
Tabela 29 - Médias da concentração de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	117

Página

Tabela 30 - Médias do conteúdo de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	118
Tabela 31 - Médias da concentração de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	120
Tabela 32 - Médias do conteúdo de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	121
Tabela 33 - Médias da concentração de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	122
Tabela 34 - Médias do conteúdo de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	124
Tabela 35 - Médias da concentração de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	127

Tabela 36 - Médias do conteúdo de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	128
Tabela 37 - Médias da concentração de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	129
Tabela 38 - Médias do conteúdo de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	130
Tabela 39 - Médias da concentração de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	131
Tabela 40 - Médias do conteúdo de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	132
Tabela 41 - Médias da concentração de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	133

Tabela 42 - Médias do conteúdo de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	134
Tabela 43 - Médias da concentração de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	137
Tabela 44 - Médias do conteúdo de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	138
Tabela 45 - Médias da concentração de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	139
Tabela 46 - Médias do conteúdo de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	140
Tabela 47 - Médias da concentração de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	141

Tabela 48 - Médias do conteúdo de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	142
Tabela 49 - Médias da concentração de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	143
Tabela 50 - Médias do conteúdo de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	144
Tabela 51 - Concentrações de cálcio, magnésio e manganês na parte aérea da alfafa nos diferentes cortes, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo com alta acidez (nível pH ₁)	146
Tabela 52 - Concentrações de cálcio, magnésio e manganês na parte aérea da alfafa nos diferentes cortes, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo com baixa acidez (pH ₂)	150
Tabela 53 - Médias da concentração de nitrogênio na metade superior da parte aérea da alfafa em três cortes, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	151

Tabela 54 - Médias da concentração de fósforo, cobre, zinco e ferro na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro e quarto cortes, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH	156
Tabela 55 - Doses de potássio e enxofre necessárias para atingir 100 e 90% da produção máxima de alfafa no segundo, terceiro e quarto cortes e na produção total	164
Tabela 56 - Níveis críticos de potássio e enxofre na alfafa determinados a partir da massa seca da metade superior e da planta toda, em três cortes	174
Tabela 57 - Valores médios de pH, potássio e enxofre determinados no solo ao término do experimento	180
Tabela 58 - Teores inicial e final de potássio trocável no solo após quatro cortes da alfafa e quantidade de K absorvido e translocado para a parte aérea	182

DESENVOLVIMENTO DA ALFAFA (*Medicago sativa* L.) EM
DIFERENTES NÍVEIS DE pH, POTÁSSIO E ENXOFRE NO SOLO

Autor: EDUARDO MENEGHEL RANDO

Orientador: PROF. DR. RONALDO IVAN SILVEIRA

RESUMO

O Paraná se encontra entre os três principais estados produtores de feno de alfafa do Brasil. Condições climáticas e edáficas favoráveis tornaram a região norte do Paraná o principal centro de cultivo desta forrageira do Estado, sendo o Município de Bandeirantes o líder na produção regional. Apesar de sua importância econômica e social para a comunidade agrícola, o nível de tecnologia empregado no cultivo da alfafa é, com raras exceções, primária e prejudicial para a produção e longevidade da cultura no campo. 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 características edáficas regional.

Com o intuito de oferecer subsídios locais que permitam a adequação de recomendações de correção da

acidez do solo e de adubação, desenvolveu-se esta pesquisa. Para isto coletou-se amostras da camada de 0 a 20 cm de um Latossolo Roxo eutrófico que foram secas ao ar e passadas em peneira com 2 mm de diâmetro. Posteriormente, parte do solo foi misturado com hidróxido de cálcio de forma a atingir pH (água) próximo a 7,0. Após quinze dias de incubação tanto o solo corrigido como o não corrigido foram misturados com 3 doses de potássio e 3 doses de enxofre, resultando assim num experimento com dois níveis de pH (5,4 e 6,8), quatro níveis de potássio (zero, 30, 100 e 300 ppm) e quatro níveis de enxofre (zero, 15, 30 e 60 ppm). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em um esquema fatorial de 2 x 4 x 4, com três repetições. Os vasos foram preenchidos com 2,6 kg de terra e mantidos em casa de vegetação com umidade próxima à capacidade de campo. Após 20 dias procedeu-se a semeadura da cv. Crioula, mantendo-se quatro plantas por vaso. Aos 71 dias realizou-se o 1º corte, enquanto que os demais foram realizados com um intervalo de 29 dias até atingir o 4º corte. Os resultados indicaram que o desenvolvimento da alfafa em solo com alta acidez é significativamente reduzido, com reflexos intensos sobre o rendimento de matéria seca, independente da adição de potássio e enxofre. O baixo pH reduziu a quantidade de nitrogênio absorvido pela planta e favoreceu a absorção de manganês em níveis considerados tóxicos para a alfafa. Somente quando se eliminou a restrição imposta pela alta

acidez foi possível constatar os benefícios da adição de K e S, os quais aumentaram a altura das plantas, o número de perfilhos, o diâmetro e o peso das raízes, bem como a produção de massa seca. Verificou-se também um aumento no teor de nitrogênio nas plantas decorrentes da aplicação de K e S. O nível crítico de K determinado na planta inteira e somente na metade superior variou de 1,02% a 1,33% e de 1,44% a 1,68%, respectivamente. De forma semelhante para o S, este variou de 0,26% a 0,38% (planta inteira) e de 0,30% a 0,41% (metade superior). Relação N:S compatível com 90% da máxima produção variou de 9,5:1 a 14:1.

GROWTH OF ALFALFA (*Medicago sativa* L.) UNDER
DIFERENT SOIL pH, POTASSIUM AND SULFUR LEVELS

Author: EDUARDO MENEGHEL RANDO

Adviser: PROF. DR. RONALDO IVAN SILVEIRA

SUMMARY

Paraná is among the top three most important states in alfalfa hay production in Brazil. Adequate edaphoclimatic conditions make the northern Paraná the main lucerne growing region of the state. In spite of its economic and social importance to the local community, alfalfa management practices are, in general, primary and do not permit to achieve high production as well as affect the longevity of the crop in the field. There is no doubt that the lack of a correct fertilization program to assure the mineral nutrition of the plants is an important factor limiting the local production of alfalfa hay.

This research was designed to study the effects of soil acidity and fertilization upon alfalfa growth. Soil samples from local field (Typic Eutrorthox) collected from 0 to 20 cm depth were mixed with $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in an amount to raise the pH up close to 7,0, and with fertilizers KCl and $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, allowing the following

treatments: a) two levels of soil pH (5,4 and 6,8); b) four levels of potassium (none, 30, 100 and 300 ppm K) and c) four levels of sulfur (none, 15, 30 and 60 ppm S). The experimental design was a completely randomized factorial scheme of 2 x 4 x 4 with three replications.

The soil was transferred to the pots (2,6 kg/pot) and alfalfa, cv. Crioula, was sown to obtain a final stand of four plants/pot. Alfalfa was grown in a greenhouse environment and was submitted to four harvests. The first one was done 71 days after sowing and the others with an interval of 29 days. The results showed that the growth of alfalfa is impaired under high soil acidity conditions, resulting in the lowest dry matter production. The soil acidity reduced the uptake of nitrogen by plants and increased the uptake of manganese at levels considered toxic to the crop. Positive effects of potassium and sulfur additions were observed only when soil acidity was reduced to pH 6,8. In this case the results showed a significant plant growth response, increasing the plant height, stem number, diameter and dry weight of root and dry matter of aerial plant parts. Potassium and sulfur application increased the nitrogen concentration in the herbage. The critical level of K observed in the whole plant and in the top half ranged from 1,02% to 1,33% and from 1,44% to 1,68%, respectively. In the same way, the critical level of S ranged from 0,26% to 0,38% (whole plant) and from 0,30%

to 0,41% (top half plant). Nitrogen : Sulfur (N : S) ratios compatible with 90% of the maximum yield ranged from 9,5:1 to 14 : 1.

1. INTRODUÇÃO

A alfafa (*Medicago sativa* L.) tem sua origem no continente asiático, com o Irã sendo o centro geográfico normalmente citado como o berço desta leguminosa forrageira (BOLTON et alii, 1982).

Hoje se encontra disseminada em várias partes do mundo, inclusive na América do Sul, onde a Argentina se destaca apresentando uma área cultivada de aproximadamente sete milhões de hectares (SAIBRO, 1984). A Argentina e o Uruguai devem ter propiciado a entrada desta cultura no Brasil, através do Rio Grande do Sul. Existem evidências também que imigrantes alemães e italianos tenham trazido sementes diretamente da Europa (NUERNBERG, 1986). Daí difundiu-se principalmente para os Estados de Santa Catarina e Paraná.

Dados atualizados e precisos sobre a área utilizada e a produção de alfafa no Brasil e nos estados são limitados. O último levantamento censitário publicado pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (CENSO AGROPECUÁRIO, 1984) relativo à produção do ano de 1980, indicou uma concentração maciça da cultura no Sul do

País (Tabela 1). Constata-se que o Rio Grande do Sul e o Paraná respondiam, na época, por 83,86% da produção nacional. Dados mais recentes, porém menos precisos, do ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL (1989), estimaram um aumento significativo na produção do Estado de Santa Catarina, praticamente igualando-se ao Paraná, no ano de 1987.

Tabela 1 - Produção da alfafa forrageira no Brasil e contribuição relativa dos principais estados produtores nos anos de 1980 e 1987.

Estados	1980 ¹		1987 ²	
	Produção	Contribuição	Produção	Contribuição
	-- ton --	---- % ----	-- ton --	---- % ----
Rio Grande do Sul	22.468	52,52	56.539	67,66
Paraná	13.408	31,34	12.876	15,41
Santa Catarina	2.767	6,47	12.799	15,32
São Paulo	2.568	6,00	1.330	1,60
Minas Gerais	874	2,04	8	0,01
Ceará	347	0,81	-	-
Rio de Janeiro	319	0,74	-	-
Outros	26	0,08	-	-
Total	42.777	100	83.552	100

¹CENSO AGROPECUÁRIO - Brasil (1984).

²ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL (1989).

A produção no Estado do Paraná também se caracteriza pela concentração regional, que ocorre na microrregião Norte Velho de Jacarezinho, onde se encontra o Muni-

cípio de Bandeirantes. A Tabela 2 mostra a evolução na produção do Estado e a participação do Município. Verifica-se que, embora o Município de Bandeirantes tenha aumentado sua importância relativa para a produção do Estado, sua produção nominal não se elevou no período 1970-1987.

Tabela 2 - Produção de alfafa no Estado do Paraná e Bandeirantes, e a contribuição relativa deste Município na produção total do Estado.

Ano	Produção		Contribuição relativa de Bandeirantes	Fontes
	Paraná	Bandeirantes		
	----- (t)	-----	--- (%) ---	
1970	18.252	7.600	41,64	CENSO AGROPECUÁRIO (1975)
1975	10.890	5.551	50,97	CENSO AGROPECUÁRIO (1979)
1980	13.408	6.119	45,64	CENSO AGROPECUÁRIO (1983)
1987	12.876 ⁽¹⁾	7.660	59,49	PEDROZO et alii (1987)

(1) Fonte: ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL (1989).

Porém, assim como acontece nas áreas produtoras do Rio Grande do Sul, onde a produtividade e a persistência média dos alfafais são baixas, sendo de 6 ton/ha/ano de feno e 3 anos, respectivamente (SAIBRO, 1984); em Ban-

deirantes estes valores se situam em torno de 10 ton/ha/ano e de 5 anos (PEDROZO et alii, 1987). Os mesmos fatores que determinam este comportamento no Rio Grande do Sul (SAIBRO, 1984) parecem prevalecer em Bandeirantes, quais sejam: a) deficiente manejo dos cortes; b) intensa competição por invasoras; c) ataques de insetos e doenças e d) manejo incorreto da adubação.

Os problemas na área de fertilização do solo no Município de Bandeirantes-PR, iniciam-se muitas vezes devido a alta fertilidade natural do solo, levando o agricultor a pensar que o mesmo conseguirá, às custas de suas próprias reservas, manter altos níveis de nutrientes disponíveis para a cultura por longo período de tempo. Como tal não acontece, a produção começa a declinar e o agricultor acaba substituindo-a por outra mais lucrativa.

Pesquisas envolvendo o manejo da adubação da alfafa são escassas no Brasil, concentrando-se quase exclusivamente no Rio Grande do Sul, o que possivelmente contribuiu para a definição das recomendações atuais de adubação para esta forrageira naquele estado (SIQUEIRA, 1987). Apesar destas recomendações auxiliarem nas sugestões de adubação para outras regiões, é necessário uma pesquisa localizada que forneça subsídios mais adequados para diagnosticar as necessidades nutricionais da alfafa e prever a capacidade do solo em suprir tais necessidades. Diante da escassez de resultados regionais, este foi o objetivo geral

do presente trabalho, estabelecendo-se os seguintes objetivos específicos:

a) Registrar o efeito da elevação do pH a valores próximos à neutralidade sobre a produção e composição mineral da alfafa.

b) Verificar a resposta da cultura em termos de desenvolvimento e produção à aplicação de potássio e enxofre no solo.

c) Estabelecer os níveis críticos de potássio e enxofre a partir de toda a massa seca da parte aérea da planta e somente na massa seca correspondente à metade superior das plantas.

d) Correlacionar os teores de potássio e enxofre existentes nas diferentes partes amostradas com a produção de massa seca, determinando qual destas é a mais adequada para se avaliar o estado nutricional desta leguminosa no que tange a estes dois nutrientes.

e) Determinar a relação N : S compatível com 90% da produção máxima de massa seca.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Considerações gerais sobre a cultura da alfafa

Embora no Brasil sua importância esteja confinada a regiões localizadas dos estados do Sul, a alfafa (*Medicago sativa* L.), é a mais importante cultura forrageira dos Estados Unidos e Canadá (BARNES et alii, 1988). Entre as características que a notabilizam em relação às outras culturas pode-se citar: a) cultura amplamente adaptada em termos agronômicos; b) efetiva fonte de fixação biológica de nitrogênio (N_2); c) alta eficiência, em termos energéticos, para crescer; d) fonte atrativa de néctar para abelhas e; e) melhora as propriedades do solo que favorecem o seu cultivo. Também é rica em proteínas, cálcio, fósforo e vitaminas A, B₁, B₂, C, E e K, produzindo forragem tenra, succulenta e muito palatável, predicados que lhe conferiram o título de "rainha das forrageiras" (NUERNBERG, 1986).

Nas condições edafoclimáticas do Município de Bandeirantes a alfafa, após semeada, se desenvolve entre 90 a 100 dias até a primeira ceifa para a produção de feno. Posteriormente, o intervalo entre os cortes se es-

treita, proporcionando, em média, 8,3 cortes.ano⁻¹ (PEDROZO et alii, 1987). Observações pessoais do autor indicam que em muitos casos o momento do corte é determinado por fatores exclusivos à morfologia e fisiologia da planta, mas visando atender necessidades momentâneas do agricultor, como alimentar animais ou venda do produto para obtenção de dinheiro. Este procedimento, também comum no Rio Grande do Sul (SAIBRO, 1984), frequentemente prejudica o desempenho das plantas, conduzindo à rápida redução no rendimento de forragem, degradação dos alfafais e redução da sua persistência. Os resultados obtidos por WASHKO & PRICE (1970) indicaram que a frequência de cortes, mais do que qualquer outro fator, determina a produtividade, persistência do stand e valor nutritivo da alfafa cultivada em solos de alta fertilidade.

Aliado à época em que é realizado, a altura do corte também determina grandes diferenças nos parâmetros de produtividade e longevidade da cultura no campo. Desta forma, MONTEIRO (1989), trabalhando com as cultivares Crioula e CUF-101, verificou que é de fundamental importância o corte a 7 cm de altura, permitindo assim maior exploração da capacidade fotossintética da área foliar remanescente, ou ainda, dos novos perfilhos que podem já estar em atividade de fotoassimilação.

Estas considerações a respeito do manejo correto da cultura estão fundamentadas nos conhecimentos da

fisiologia da planta, notadamente no que concerne à rebrota. Tem sido amplamente assumido que o desenvolvimento inicial de novos brotos após a remoção da parte aérea ocorre às expensas de compostos orgânicos existentes nos órgãos subterrâneos da alfafa (HODGKINSON, 1970). Embora várias espécies de compostos orgânicos possuam funções de reserva, os carboidratos parecem ser o principal material utilizado para este fim (BROWN et alii, 1972). Estes acumulam-se nas raízes e coroas das plantas e são usados para o crescimento dos perfilhos remanescentes e/ou que surgem após o corte (HEICHEL et alii, 1988). O processo de rebrota mobiliza estas reservas para a parte aérea, diminuindo sua quantidade até que a folhagem nova seja capaz de sintetizar uma quantidade de carboidratos maior que a consumida e o processo se inverta (NUERNBERG, 1986). Na realidade a assimilação de fotossintatos e sua distribuição pela planta são funções de um complexo sistema de fontes (partes da planta que exibem uma exportação líquida dos assimilados) e drenos (partes da planta que exibem uma importação líquida destes assimilados), que na cultura da alfafa se manifesta de forma altamente dinâmica (HEICHEL et alii, 1988).

O comportamento acima descrito pode ser observado na Figura 1, extraída de BROWN et alii (1972). No sistema sem corte, o início da primavera e a elevação da temperatura permitiram um maior desenvolvimento da cultura, fazendo com que os carboidratos acumulados nas raízes de-

clinassem até o momento em que a assimilação se igualou ou excedeu as necessidades para o crescimento. Durante os estágios de formação do botão floral e da floração, os carboidratos rapidamente se acumularam nas raízes, enquanto que, durante o desenvolvimento das sementes ocorreu uma leve queda. Considerando a existência de dois drenos principais atuando neste momento e a proximidade do dreno em relação à fonte, é sugerido que os produtos da fotossíntese e os compostos orgânicos acumulados nas raízes se constituem nas fontes primárias para suprirem as necessidades das sementes e brotos basais, respectivamente. Já no sistema submetido a três cortes verifica-se que o nível de carboidratos segue um típico padrão em forma de "U" após cada corte, resultado da mobilização dos mesmos para os novos perfilhos em desenvolvimento.

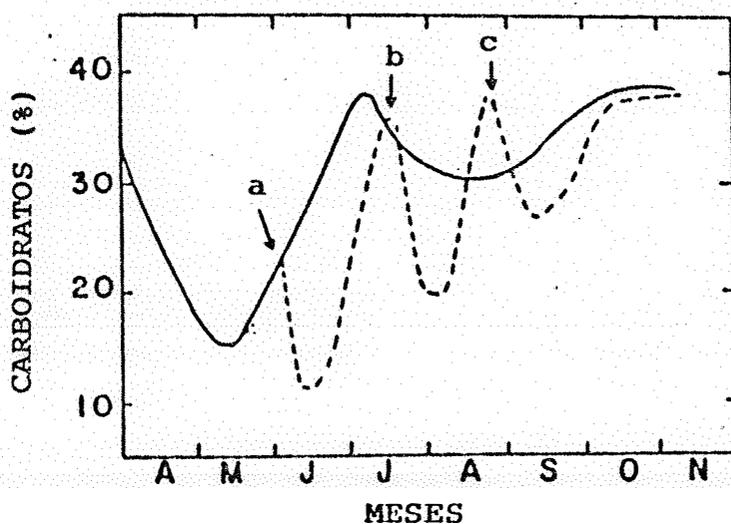


Figura 1 - Variação mensal do teor total de carboidratos disponíveis em raízes de alfafa submetida a um regime de cortes (linha pontilhada) na fase de botão floral (a), 10% de florescimento (b) e 30% de florescimento (c) e sem cortes (linha cheia).

Conclui-se, portanto, que a capacidade de desenvolvimento e a rapidez na rebrota dependem, em parte, do manejo das plantas, no qual se inclui a nutrição mineral. A falta de nutrientes minerais traz limitações sobre processos fisiológicos e bioquímicos, afetando a produção, acúmulo e translocação de compostos orgânicos de reserva. Os elementos minerais, embora não possam ser considerados como reservas de energia ou orgânicos, constituem uma parte importante das reservas da planta (BROWN & ASHLEY, 1974). Mesmo envolvendo pequenas quantidades, sua redistribuição na planta após o corte pode assegurar as necessidades iniciais da nova brotação (HODGKINSON, 1973).

2.2. Composição química

A análise química das culturas forrageiras, tais como a alfafa, enfoca primeiramente aqueles componentes da parte aérea que possuem efeitos positivos ou negativos no seu valor nutritivo (BICKOFF et alii, 1972). Desta forma, compostos nitrogenados, lipídeos, carboidratos, vitaminas, compostos fenólicos e elementos minerais são especialmente importantes no estudo da composição química e avaliação da qualidade da forragem. Destes, somente os últimos serão enfatizados nesta revisão.

As interações dos nutrientes absorvidos com a temperatura, a umidade e a luz determinam, em grande parte, a

composição química de uma planta (BOLTON, 1962). Estádio de maturidade (BICKOFF et alii, 1972), parte da planta analisada (KIMBROUGH et alii, 1971), nível de fertilização (GERWIG & AHLGREN, 1958 e McLEOD, 1965), práticas culturais, ataques de pragas e doenças e cultivares (MALAVOLTA & MALAVOLTA, 1988), são fatores que, interagindo, irão definir o conteúdo dos nutrientes minerais nos tecidos vegetais. Alguns exemplos a seguir ilustram tais interações na cultura da alfafa:

a. Em nove anos de pesquisa, MARKUS & BATTLE (1965) constataram que a adubação N-P-K resultou no aumento dos teores de P e K nos tecidos, porém, não o de N que foi eficientemente suprido pela fixação simbiótica. A aplicação de K reduziu os teores de Ca e Mg enquanto que a adição de N reduziu os teores de P. As chuvas que ocorreram no período resultaram numa acentuada redução de P, num característico efeito de diluição.

b. Após três anos de pesquisa, GERWIG & AHLGREN (1958) verificaram que as concentrações de N, P, K, Ca e Mg sofreram variações anuais, alterando inclusive o nível crítico de K nas plantas. Os autores não justificaram estas variações.

c. Comparando temperaturas de 32°C dia/ 24°C noite com 18°C dia/10°C noite (SMITH, 1969) e 27°C dia/ 21°C noite com 15°C/10°C noite (SMITH, 1971), verifica-se que nas temperaturas superiores a absorção e translocação dos nutrientes é maior, resultando em teores mais elevados nos tecidos.

d. SMITH (1969) e HAAG & HASS (1982) verificaram que a maioria dos nutrientes minerais se concentra em maior quantidade nas folhas, à exceção do K que predomina nos caules. Além disso, a concentração dos constituintes químicos nas folhas varia com a posição que estas ocupam nas plantas (SMITH, 1970).

e. KIMBROUGH et alii (1971) analisaram o teor de K em diferentes estádios de desenvolvimento da alfafa e concluíram que este foi 143% maior na fase de botão floral (18 dias após o corte) que no estágio avançado de florescimento.

f. Embora cultivares diferentes possam exibir concentrações distintas de nutrientes nos tecidos, conforme ilustram MALAVOLTA & MALAVOLTA (1988) para a cultura da cana-de-açúcar, OLIVEIRA (1986) comparando quatro cultivares de alfafa não detectaram diferenças significativas nos teores da maioria dos elementos, com exceção do manganês. Seus resultados estão ilustrados na Tabela 3 e fornecem um referencial sobre a composição mineral da cultura.

Apesar das dificuldades mencionadas, Bear & Wallace¹, citados por BOLTON (1962), sugerem concentrações adequadas na matéria seca de 2% de potássio, 1,40% de cálcio, 0,35% de magnésio, 3% de nitrogênio, 0,27% de fósforo,

¹BEAR, F.E. & WALLACE, A. 1950. New Jersey Agr. Exp. Sta. Bull., 748.

0,20% de enxofre, 10 ppm de manganês e 20 ppm de boro. GRIF FITH (1974) indica teores de 2 ppm e menos que 0,5 ppm de Mo em plantas normais e deficientes, respectivamente, enquanto que para o zinco sugere como adequado a faixa de concentração de 21-70 ppm nos 7,5 cm superiores da planta, amostrada antes do início do florescimento.

Tabela 3 - Composição mineral de quatro cultivares de alfa-fa (média de quatro colheitas).

Mineral	Cultivar				Média	D.M.S.*
	Florida 77	CUF-101	Moapa	Crioula		
P (%)	0,29	0,28	0,29	0,31	0,30	n.s.
K (%)	2,75	2,98	3,04	2,78	2,89	n.s.
Ca (%)	1,46	1,57	1,50	1,41	1,48	n.s.
Mg (%)	0,16	0,18	0,17	0,16	0,17	n.s.
S (%)	0,32	0,32	0,33	0,33	0,32	n.s.
Fe (ppm)	415,50	406,56	460,25	385,69	417,00	n.s.
Cu (ppm)	11,64	9,84	12,14	10,94	11,14	n.s.
Mn (ppm)	42,69	43,19	51,25	41,69	44,70	9,07
Zn (ppm)	37,56	36,31	41,25	38,00	38,28	n.s.
B (ppm)	26,19	24,94	26,50	27,88	26,38	n.s.
Na (ppm)	156,75	165,88	136,25	118,94	144,45	n.s.
Al (ppm)	421,00	430,19	461,63	366,19	419,75	n.s.

* Diferença mínima significativa ($p < 0,01$).

Fonte: OLIVEIRA (1988).

Relacionando o conteúdo em nutrientes obser-

vados na alfafa com a massa vegetal produzida, tem-se a dimensão do potencial de exportação dos elementos minerais, conhecimento este chave no diagnóstico de problemas nutricionais e no estabelecimento de um programa de fertilização compatível com as necessidades da cultura, dentro de um nível de produtividade esperado. Os valores observados na Tabela 4, sumarizam, de forma comparativa, a quantidade de alguns nutrientes removidos pela alfafa, trevo vermelho e lespedeza (POTASH INSTITUTE, 1972). Deduz-se que o manejo adequado da adubação potássica e o uso da inoculação são práticas importantes para o cultivo da alfafa.

Tabela 4 - Nutrientes removidos por algumas leguminosas.

Cultura	Massa Seca	Nutrientes removidos				
		N ¹	P	K	Mg	S
		----- (kg/ha) -----				
Alfafa	16.128	504	39	448	45	45
Trevo vermelho	12.096	336	44	336	34	34
Lepedeza	6.048	168	24	140	28	22

¹Parcialmente derivado da atmosfera por bactérias simbióticas.

Fonte: POTASH INSTITUTE (1972).

Deve-se ressaltar que embora as necessidades

nutricionais da alfafa cultivada para obtenção de feno sejam as mesmas da alfafa utilizada para pastejo direto, a exigência em fertilizantes deverá levar em consideração o fato que no primeiro sistema 100% dos nutrientes absorvidos podem ser removidos do campo, enquanto que no segundo 80% destes podem retornar ao solo (DOUGLAS, 1986). Porém, como neste último sistema os nutrientes são irregularmente distribuídos e os solos envolvidos são normalmente menos férteis, mais informações são necessárias para se determinar os níveis adequados de fertilização (LEACH, 1978).

2.3. Fatores que afetam a necessidade de nutrientes

Quando se deseja determinar a quantidade adequada de fertilizantes a ser aplicada, vários fatores devem ser levados em consideração. Em regiões onde o inverno é rigoroso, a planta paralisa o desenvolvimento mantendo-se em fase de hibernação até que a temperatura volte a subir. Porém em regiões com inverno ameno as cultivares adaptadas, como é o caso da "Crioula", vegetam o ano todo, ocorrendo assim uma demanda contínua de nutrientes sob uma ampla faixa de condições climáticas. Um correto entendimento dos efeitos que os fatores climáticos e edáficos, bem como, as práticas culturais, exercem sobre o desenvolvimento da alfafa, é necessário para assegurar a manutenção do nível adequado de todos os nutrientes durante o período de crescimento

(RHYKERD & OVERDAHL, 1972).

2.3.1. Nível de produção

Produções adequadas somente são obtidas em plantas que exibem uma concentração de nutrientes acima de um determinado nível crítico. Uma vez que a alfafa requer concentrações elevadas da maioria dos elementos minerais, os níveis destes nutrientes no solo deverão ser correspondentemente altos para manter um suprimento compatível com as necessidades (LEACH & CLEMENTS, 1985). Portanto, produções maiores implicam no aumento da demanda dos nutrientes e, conseqüentemente, das quantidades a serem repostas no solo. A Tabela 5 exemplifica tais interações, onde a maior dose de P e K aumentou a produção em quase 40% em relação ao tratamento sem fertilizantes. Segue-se, porém, um incremento de 249% e 78% na quantidade de potássio e fósforo absorvidos, respectivamente.

2.3.2. Manejo da cultura

Existem dois aspectos relevantes no manejo da cultura para garantir produtividade e persistência da alfafa no campo: freqüência e altura de cortes. Normalmente o intervalo entre os cortes é decidido de 3 maneiras: a) fi

Tabela 5 - Produção de alfafa e exportação de nutrientes em diferentes níveis de fósforo e potássio aplicados.

Doses dos fertilizantes		Massa seca produzida em dois anos	Nutrientes absorvidos	
K ₂ O	P ₂ O ₅		potássio	fósforo
---- (kg/ha) ----		-- t/ha --	---- (kg/ha) ----	
0	0	18	193	40
161	0	21	381	54
0	135	20	215	59
645	0	20	558	45
645	135	25	674	69

Fonte: Adaptado de PECK (1970).

... xar o número de dias entre os cortes; b) basear-se no estágio de desenvolvimento da cultura (pré-floração, 10% de flores, 30% de flores, etc.) e; c) cortar quando iniciar a brotação oriunda da coroa (DOUGLAS; 1986). As alternativas "b" e "c" não são mutuamente excludentes, uma vez que o início da floração muitas vezes está associado ao surgimento

dos brotos basais. Em função do referencial selecionado, o número anual de cortes deverá ser diferente, alterando a produção final. McLEOD (1978) cortou plantas quando estas apresentavam alturas de 20, 30 e 40 cm ou com 10% de floração e registrou produções de massa seca de 30, 35, 41 e 42 ton/ha, respectivamente, em cinco anos de trabalho. As necessidades em nutrientes minerais serão portanto distintas.

Intervalos maiores ou menores de corte implicarão também na colheita de material em estado de maturidade mais ou menos avançados, alterando a composição mineral da planta (KIMBROUGH, 1971).

Altura de corte em torno dos 7 cm tem se mostrado adequada para o desenvolvimento da alfafa (MONTEIRO, 1989). Porém Ogden & Kehr¹, citados por SMITH (1972) mostraram que material de alta qualidade nutritiva pode ser obtido no estágio de pleno florescimento cortando-se a metade superior das plantas. Resultados de quatro anos indicaram que este segmento produziu 51% de MS da planta toda. Uma vez que a concentração dos minerais não é a mesma ao longo da planta (do colo ao ápice), a altura de corte promoverá uma maior ou menor exaustão dos nutrientes do solo (Tabela 6).

As possibilidades mencionadas anteriormente indicam que tanto a produção quanto a composição são alteradas em função do manejo empregado, devendo portanto serem analisadas

¹OGDEN, R.L. & KEHR, W.R. Proc. 10th Tech. Alfalfa Conf., USDA, ARS, 74-46: 23-37, 1968.

conjuntamente para melhor entendimento das necessidades nutritivas da cultura.

Tabela 6 - Concentração mineral em folhas e caules da alfafa, em segmentos de 10 cm até o ápice da planta.

Elementos	Segmentos (cm)						
	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-90
----- (%) -----							
Caule							
K	1,10	1,37	1,80	2,35	2,75	2,55	2,55
P	0,20	0,20	0,20	0,20	0,34	0,34	0,39
Folhas							
K	0,84	1,24	1,52	1,52	1,37	1,24	0,84
P	0,31	0,34	0,39	0,39	0,39	0,39	0,38

Fonte: SMITH (1970).

2.3.3. Clima

Umidade e temperatura exercem um pronunciado efeito sobre a resposta à adubação. Disponibilidade de N, P e S é afetada pela temperatura, uma vez que a decomposição da matéria orgânica libera-os para a solução (RHYKERD & OVERDAHL, 1972). Somados a estes, mudanças na intensidade luminosa e no comprimento do dia influenciarão a concen-

tração mineral nos tecidos devido alterações na produção, movimento do íon no solo, atividade da raiz e absorção de nutrientes (LANYON & GRIFFITH, 1988). Segundo estes mesmos autores, é comum efetuar-se três a quatro cortes por sessão na região norte dos Estados Unidos, enquanto que, no sudoeste, chega-se a sete ou oito. No Município de Bandeirantes a média é de oito cortes por ano (PEDROZO et alii, 1987). Baixas temperaturas associadas a dias curtos são os fatores responsáveis por estas diferenças (McKENZIE et alii, 1988). Em geral produção total e remoção de nutrientes aumentam com o número de colheitas (LANYON & GRIFFITH, 1988).

Outros fatores, como cultivares, também podem ocasionar diferentes necessidades em nutrientes, apesar de que no Brasil a cv. Crioula predomina de forma quase que absoluta.

2.4. Solo e nutrição mineral da alfafa

Embora os fatores físicos exerçam forte influência sobre o crescimento da alfafa, conforme enfatizam SCOTT & ERICKSON (1964), CRISTIAN (1977) e LEACH & CLEMENTS (1985), o correto manejo da fertilidade do solo se constitui em prática indispensável para obtenção de produções satisfatórias. Os problemas químicos de solo mais limitantes ao desenvolvimento da alfafa são o baixo pH, elevados teores de alumínio e manganês trocáveis, baixos teores de

fósforo disponível, cálcio e magnésio (NUERNBERG, 1986).

2.4.1. Acidez e calagem

No Brasil os solos ácidos ($\text{pH} < 5,5$) predominam em quase todas as regiões, à exceção do nordeste (MALAVOLTA, 1985). A baixa fertilidade destes solos se relaciona parcialmente a um balanço iônico desfavorável no sistema solo-planta que ocorre sob condições de baixo pH (JANBHORBANI et alii, 1975). Das leguminosas forrageiras comuns, alfafa é uma das mais sensíveis à acidez do solo (RHYKERD & OVERDAHL, 1972). Entre as respostas de diversas espécies normalmente cultivadas na região sul dos Estados Unidos, ADAMS & PEARSON (1967) concluíram que a alfafa é a cultura mais responsiva à calagem. Incremento médio de 344% na produção de feno foi obtido a partir de resultados oriundos de diferentes localidades. É interessante ressaltar que mesmo solos com pH inicial de 5,7 e 5,8 mostraram aumentos na produção de forragem de 784 kg/ha para 7.168 kg/ha e de 448 kg/ha para 6.048 kg/ha, respectivamente, devido à calagem. Isto explica os níveis elevados de pH normalmente citados como adequados para a alfafa. WOODRUFF (1967) mostra uma tabela que registra a faixa de pH (CaCl_2 0,01 M) de 6,0 a 6,5 e 6,5 a 7,0 como satisfatório e ideal, respectivamente, para esta cultura, na região do meio-oeste americano. No Brasil, a recomendação oficial para os estados de Santa

Catarina e Rio Grande do Sul visa atingir pH (água) de 6,5 (SIQUEIRA, 1987).

2.4.1.1. Causas da baixa fertilidade dos solos ácidos e seus reflexos sobre o desenvolvimento da alfafa

A baixa fertilidade dos solos ácidos, segundo MALAVOLTA (1985), se explica pela presença de características ou propriedades desfavoráveis para o crescimento e a produção do vegetal, quais sejam: a) pobreza em bases trocáveis (K, Ca, Mg); b) baixa CTC; c) condições inadequadas para a vida microbiana; d) alto poder de fixação de fósforo em formas menos disponíveis; e) menor disponibilidade de Mo; f) alto teor de alumínio trocável e g) níveis tóxicos de manganês. A toxidez do íon H^+ também deve ser considerada (JACKSON, 1967), embora a concentração deste íon a nível de campo ainda não tenha sido identificado como responsável direto pelo pequeno desenvolvimento de plantas (ADAMS & PEARSON, 1967).

A perda dos cátions básicos do solo através das colheitas e lixiviação é a razão de sua acidificação (TISDALE et alii, 1985). Por sua vez a elevação no pH aumenta o número de cargas negativas na superfície de materiais com carga variável, incrementando a adsorção de potássio (BOLAN et alii, 1988) e magnésio (QUAGGIO et alii, 1982),

reduzindo as perdas por lixiviação. Isto é especialmente importante para a cultura da alfafa que necessita de altos teores de nutrientes disponíveis no solo por ocasião do seu estabelecimento (THOMPSON et alii, 1986).

Bear & Wallace, citados por BOLTON (1962), sugerem que o complexo de troca adequado de um solo para esta cultura deve consistir de aproximadamente 65% de Ca, 5% de K, 10% de Mg e 20% de H, com o pH em torno de 6,5. Posteriormente, Graham¹, citado por ECKERT & McLEAN (1981), afirmou que o desenvolvimento e produção da alfafa será pouco alterada nas faixas de 65 a 85% Ca, 6 a 12% Mg e 2 a 5% de K, com os íons H ocupando os sítuos remanescentes. Porém, os resultados obtidos em casa de vegetação por ECKERT & McLEAN (1981), permitiram concluir que se o pH alcançar ou superar a 6, várias outras relações K/Mg/Ca poderão resultar em máxima produção. Afirmam também que uma vez o nível de nutrientes no solo tenha atingido os valores adequados, a relação entre os nutrientes catiônicos não será tão importante até o ponto em que o excesso de um não prejudique a absorção de outro. Os resultados de campo obtidos por McLEAN et alii (1983) suportam estas afirmações, ao concluírem que nas práticas de calagem e fertilização deve ser enfatizado principalmente níveis suficientes, mas não excessivos, de cada um dos cátions básicos, ao invés de se priorizar o ajustamento de uma relação básica entre eles.

¹GRAHAM, E.R. 1959. An explanation of theory and methods of soil testing. Mo. Agr. Exp. Stn. Bull., 734.

Numa escala mundial os solos ácidos se constituem na maior barreira ao aumento na produção das culturas devido a toxidez de Al e Mn (MENGEL & KIRKBY, 1987), os quais, juntamente com o Fe, estão implicados na redução da produção da alfafa nestes ambientes (LANYON & GRIFFITH, 1988).

2.4.1.2. Influência da acidez no comportamento do Al no solo e na planta

Os resultados obtidos por ANDREW & HUTTON (1974) demonstram a grande sensibilidade da alfafa ao alumínio, a qual, entre oito leguminosas forrageiras testadas, teve sua produção reduzida em 90% quando cultivada em solução com 2 ppm de Al. Já BALIGAR et alii (1985), verificaram que de seis espécies de leguminosas testadas, que incluem soja, ervilha e trevo, somente as duas únicas cultivares de alfafa testadas foram classificadas como muito sensíveis ao alumínio. O metabolismo da germinação da alfafa não é afetado até a concentração de 100 ppm de Al na solução, porém, os efeitos tóxicos se manifestam rapidamente após a emergência da radícula (DESSUREAUX, 1969). Segundo este mesmo autor, uma solução nutritiva com 20 ppm de Al pode ser a mais adequada para induzir toxidez em testes de seleção de cultivares tolerantes. Entretanto, este valor pode ser alterado em função da composição da solução utilizada, pois como constataram ALVA et alii (1986) com soja e trevo, os efeitos nocivos do alumínio podem ser prevenidos pelo aumen

to na concentração de Ca, K, Mg ou NH_4 , os quais exercem um efeito direto neste sentido. Adição de 3 mM de Ca à solução nutritiva contendo 0,08 mM de Al pode aliviar a toxidez deste, conforme verificou RECHCIGL (1987). Concentração superior a 200 ppm de Al na parte aérea da alfafa pode indicar toxidez (OUELLETTE & DESSUREAUX, 1958).

Os mecanismos fisiológicos dos efeitos tóxicos do alumínio relacionados por MENGEL & KIRKBY (1987) podem ser assim sumarizados: a) o metabolismo dos fosfatos nas células pode ser alterado em função da formação de complexos Al-fosfatos estáveis; b) o Al se liga à calmodulina, interferindo desta maneira em diversos processos enzimáticos e, c) o Al afeta a membrana citoplasmática, exercendo um efeito detrimental sobre a absorção iônica. Inibição da divisão celular no meristema apical das raízes pode ser resultado da ligação do Al ao DNA (MARSCHNER, 1986). Segundo este autor, uma vez que a acumulação do alumínio é especialmente alta no núcleo das células existentes nos ápices das raízes, estes poderão ter seu alongamento inibido, pelo menos em parte, devido às injúrias causadas àquelas células, que atuariam como sensores ao estresse ambiental. Inibição na absorção de Ca e Mg devido competição pelos sítios de adsorção nas raízes também é induzida pelo Al.

Em função da localização dos efeitos primários do Al nas plantas, os sinais de toxidez aparecem inicialmente no sistema radicular. Isto tem levado diversos

pesquisadores a utilizarem o crescimento de raiz como parâmetro básico nos estudos que envolvem a presença deste elemento, como por exemplo FAGÉRIA (1982) com arroz, CAMARGO (1983) com trigo e FURLANI & HANNA (1984) com arroz e milho. As raízes ficam mais curtas (MARSCHNER, 1986), grossas e com coloração pardacenta (MENGEL & KIRKBY, 1987). Pesquisas com alfafa mostraram que em concentrações tóxicas de Al em solução o sintoma crítico foi a falta de alongamento da raiz (DESSUREAUX, 1969), impedindo de forma dramática o desenvolvimento da raiz principal. Sintomas na parte aérea por sua vez podem se assemelhar à deficiência de fósforo (folhas verde-escuras, paralização no crescimento e arroxamento dos caules), já que a absorção e translocação deste elemento é alterada na presença de Al (MENGEL & KIRKBY, 1987).

Evitar portanto níveis tóxicos de Al através do manejo químico do solo é imprescindível ao livre desenvolvimento da alfafa. Isto pode ser conseguido pela calagem, que tem se mostrado eficiente na redução do Al trocável e aumento na longevidade e produção desta leguminosa (MOSCHLER et alii, 1960). Embora medidas da concentração (ou atividade) do Al na solução do solo sejam mais adequadas para prever seu potencial tóxico para as plantas (BRUCE et alii, 1988), o teor de Al trocável ou a sua saturação no complexo de troca, podem ser um indicador seguro da resposta à calagem (MOSCHLER et alii, 1960; JANGHORBANI, 1975 e BEYENE, 1982). Produção da alfafa em diversos níveis de

calagem também tem mostrado uma alta concordância com a porcentagem de saturação de bases calculada tanto a partir da CTC efetiva (MOSCHLER et alii, 1960), como a partir da CTC a pH 7,0 (JOHN et alii, 1972). Em sete diferentes solos utilizados pelos últimos autores, cinco propiciaram incrementos significativos na produção quando calcariados para atingirem saturação por bases de 70%, enquanto que, os outros dois responderam significativamente até a dose calculada para alcançar 100%.

Os resultados obtidos nestes dois solos fornecem evidências de que a elevação do pH para a neutralização do Al nem sempre será suficiente para a maximização da produção. PONS (1974) constatou que mesmo após a eliminação do Al tóxico, a produção continuou crescendo com as doses de calcário, levando-o a concluir que quando o Al deixa de ser o principal fator, outros ligados ao pH ou à saturação por bases devem prevalecer. Pesquisa desenvolvida por KORNELIUS (1972) em seis tipos de solos do Rio Grande do Sul mostrou que as produções máximas somente foram obtidas numa faixa de pH de 6,3 a 7,8, enquanto que no Estado de São Paulo, FREITAS & PRATT (1969) trabalhando com Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Podzólico Vermelho Amarelo, concluíram que é justificável e necessário basear as recomendações de calcário no controle do pH, o qual deverá chegar a 6,0. Estes valores de pH estão bem acima daqueles necessários para a neutralização do Al trocável, que é próximo a 5,4 (QUAGGIO, 1983).

Embora solos ricos em alofanos e com alta saturação de Al possam justificar o aumento do pH até próximo a 6,6 para altas produções (MAHLER, 1983), respostas adicionais em muitos casos podem ser explicadas pela ação do manganês que ainda permanece em níveis tóxicos no sistema (MAHONEY et alii, 1981). Curvas relacionando o pH com teores de Al e Mn trocáveis mostram que a eliminação do excesso de manganês ocorre em valor de pH aproximadamente 0,5 unidades mais alto do que aquele necessário para neutralizar o Al (MALAVOLTA, 1985).

A interpretação dos resultados da calagem também deve levar em consideração os aspectos químicos do subsolo. A correção da camada superficial não elimina o Al existente abaixo da zona de incorporação, podendo levar a produções insatisfatórias da alfafa (MAHONEY, 1981). O trabalho desenvolvido por POHLMAN (1946) mostrou que pequenas doses de corretivo aplicado na superfície poderão propiciar produções semelhantes às doses mais elevadas, se as camadas inferiores no perfil não apresentarem problemas de acidez do solo. Subsolos ácidos podem reduzir seriamente a produtividade da alfafa durante os períodos intermitentes da seca, mesmo tendo a superfície do solo sido calcariada e adubada adequadamente (SIMPSON et alii, 1979).

Uma vez que a grande vantagem do cultivo da alfafa sobre outras leguminosas forrageiras resulta do seu enraizamento profundo, técnicas que visem ajustar as condições do subsolo devem ser pesquisadas (DOUGLAS, 1986), já

que a aplicação superficial de corretivos não é uma prática efetiva para tal (PINKERTON & SIMPSON, 1981). Em alguns casos, redução do Al tóxico e aumento de Ca, criando um efeito similar, embora menor, ao da calagem, podem ser conseguidos com a aplicação do gesso (SUMNER et alii, 1986), permitindo a penetração das raízes da alfafa nas camadas inferiores quimicamente melhoradas.

2.4.1.3. Influência da acidez no comportamento do Mn no solo e na planta

A disponibilidade do Mn no solo é governada por diversos fatores. A quantidade presente nos minerais formadores do solo determina muitas vezes, diferenças fundamentais na relação solo-Mn x planta. O conteúdo de Mn total nas rochas basálticas está próximo de 1.500 ppm, contra 1.100, 850, 400 e 10 a 100 ppm nos calcários, folhelhos, granitos e arenitos, respectivamente (BATAGLIA, 1988). Desta forma, solos originados de rochas básicas normalmente apresentam concentrações significativamente elevadas, conforme constataram VALADARES & CAMARGO (1983) em amostras de 28 perfis de quatorze das principais unidades de solo do Estado de São Paulo. Nesta pesquisa o Latossolo Roxo Eutrófico apresentou em média, no horizonte A, 1310 ppm de Mn total, enquanto que nos Latossolos derivados de sedimentos modernos e sedimentos modernos arenosos os valores médios foram de 142,6 e 97,57 ppm, respectivamente. Médias maiores que no LR somente foram obtidas em outras duas uni-

dades de solos também derivados de basalto.

O manganês comumente ocorre nos minerais em diferentes estados de oxidação (Mn^{2+} , Mn^{3+} e Mn^{4+}), mas o estágio Mn^{2+} é mais frequente nos minerais silicatados do solo (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1985). Na solução do solo de perfis bem drenados a forma iônica Mn^{2+} é a mais abundante, enquanto outras espécies resultantes da hidrólise de Mn^{2+} , como $Mn(OH)^+$ e $Mn(OH)_2^0$, são de menor importância (CAMARGO, 1988). O Mn^{2+} pode formar complexos com íons cloreto ($MnCl^+$), sulfatos ($MnSO_4^0$) e carbonatos ($MnCO_3^0$), que podem eventualmente assumir alguma importância em solução. O Mn^{2+} dissolvido na solução tem importância primária às plantas, uma vez que esta é a forma absorvida pelas mesmas. Seu nível na solução está em equilíbrio direto com o Mn trocável, com complexos Mn-orgânicos solúveis em água e com o "Mn facilmente reduzível" (TISDALE et alii, 1985). As frações combinadas de Mn^{2+} e "Mn facilmente reduzível" são chamadas de "Mn ativo" (MENGEL & KIRKBY, 1987) e o equilíbrio entre elas depende de reações de oxidação-redução, as quais por sua vez são influenciadas por fatores que incluem pH, teor de matéria orgânica, atividade microbológica e umidade do solo.

Assim, estando o Mn presente no solo, o nível de deficiência, suficiência ou excesso para as plantas será determinado pela atuação destes fatores, conforme exemplificado na Tabela 7, extraída de GRAVEN et alii (1965). Cons-

tata-se que tanto a acidez como a inundação do solo aumentam expressivamente o teor de Mn na massa seca da alfafa, com reflexos acentuados na produção.

Tabela 7 - Efeito da calagem e de 3 dias de inundação na produção de massa seca e concentração de Mn na alfafa.

Tratamento	Inundação	Massa seca	Concentração de Mn
(g/CaCO ₃ /vaso)		-(g/vaso)-	--- (ppm) ---
0	Ausente	3,1	426
0	Presente	1,2	6067
20	Ausente	5,7	99
20	Presente	3,0	954

Fonte: GRAVEN et alii (1965).

Solos apresentando altos níveis de Mn e com pH igual ou menor que 5,5 são prováveis de induzir toxidez deste elemento às culturas ali estabelecidas (KABATA-PENDIAS & PENDIAS, 1985). A dependência da disponibilidade de Mn exercida pela reação do solo pode ser evidenciada através da relação onde cada incremento de uma unidade de pH provoca uma redução de 100 vezes na atividade deste íon na solução do solo (BATAGLIA, 1988). Apesar de existirem diferenças entre cultivares de alfafa no que diz respeito à

susceptibilidade ao Mn (DESSUREAUX & QUELLETTE, 1958), normalmente a espécie *Medicago sativa* apresenta menor tolerância ao excesso deste elemento quando comparado com outras leguminosas forrageiras tropical e temperada (ANDREW & HUTRON, 1974). Isto a torna uma cultura bastante responsiva à calagem, prática esta simples e eficiente para reduzir a disponibilidade de Mn no solo e sua concentração na parte aérea da alfafa a níveis não tóxicos, conforme demonstramos resultados de JOHN et alii (1972), JANGHORBANI et alii (1975), MAHONEY et alii (1981) e GUPTA & WILLIS (1982).

Devido seu comportamento no solo, o fornecimento de Mn via adubo deve ser realizado de forma criteriosa. A aplicação em solos ácidos pode intensificar os problemas de toxidez na alfafa, conforme demonstraram FREITAS & PRATT (1969) trabalhando em Latossolo Vermelho Escuro e Latossolo Roxo. Os resultados obtidos por DIONNE & PESANT (1985) indicaram que a produção de alfafa (média de três diferentes tipos de solo) foi reduzida significativamente pela aplicação de $200 \text{ kg Mn} \cdot \text{ha}^{-1}$ no tratamento com pH 5,2, porém aumentou significativamente quando a mesma dose foi usada no tratamento com pH 7,6. Ou seja, a ausência de calagem e a calagem excessiva podem resultar em toxidez e deficiência, respectivamente.

A ação tóxica do Mn normalmente é evidenciada na parte aérea das plantas. As raízes parecem ser insensíveis a altas concentrações de Mn e são afetadas somen-

te de forma indireta, como resultado da inibição no crescimento da parte aérea (ADAMS & PEARSON, 1967). Apesar de serem indiretamente atingidas, a redução no desenvolvimento das raízes da alfafa cultivada na presença de altos níveis de Mn pode ser mais expressiva que a diminuição da massa seca da parte aérea, conforme demonstraram SMITH et alii (1983). Segundo estes autores, o excesso de Mn resultou em menor produção de clorofila, diminuindo portanto a capacidade fotossintética da planta, a qual passou a produzir menos carboidratos. Uma vez que as raízes estão mais distantes da fonte, estas teriam um menor suprimento destes nutrientes orgânicos e cresceriam menos.

Dois métodos para diagnosticar o excesso de Mn em plantas podem ser usados, separadamente ou em combinação (ANDREW & HEGARTY, 1969): observação de sintomas foliares e/ou concentração de Mn na matéria seca da parte aérea acima da qual a produção começa a ser afetada. Resultados de pesquisas tem mostrado variações no nível tóxico para a alfafa, podendo ser alcançado a partir de 175 ppm (OUELLETTE & DESSUREAUX, 1958), 340 ppm (SMITH et alii, 1983) ou 380 ppm (ANDREW & HEGARTY, 1969). Tolerância diferencial de cultivares ao excesso de Mn, conforme demonstrado por DESSUREAUX & OUELLETTE, 1958), condições ambientais existentes durante a pesquisa e definições do parâmetro utilizado para o estabelecimento do nível tóxico de Mn contribuem, pelo menos em parte, para explicar as diferenças observadas entre os resultados obtidos por diferentes autores. Os resultados

de SUTTON & HALLSWORTH (1958) forneceram evidências de que alta intensidade luminosa aumenta os efeitos tóxicos do Mn, possivelmente por intensificar nestas condições, a destruição dos cloroplastos. Concentrações de Mn nos tecidos associados com uma redução de 10% e 5% em relação à máxima produção foram usadas por SMITH et alii (1983) e ANDREW & HEGARTY (1969), respectivamente, para definir as concentrações críticas para toxidez em alfafa. Valores considerados no primeiro caso tendem a ser um pouco inferiores ao segundo (ANDREW & HEGARTY, 1969).

Os primeiros sintomas da toxidez de Mn em alfafa se manifestam através de pontuações necróticas de coloração marrom que se expressam nas folhas maduras, as quais, posteriormente, tornam-se parcialmente cloróticas (SMITH et alii, 1983), principalmente em condições de toxidez mais intensa (SUTTON & HALLSWORTH, 1958). Tais sintomas se localizam nos ápices e margens das folhas (Foy¹, citado por ADAMS & PEARSON, 1967), que podem se desprenderem das plantas (MAHONEY et alii, 1982).

2.4.1.4. Influência da acidez do solo na associação simbiótica entre Medicago sativa e Rhizobium meliloti

A reação do solo interfere diretamente na atividade microbiana, organismos responsáveis pela decompo-

¹FOY, C.D. Toxic factors in acid soils of the southeastern United States as related to the response of alfalfa to lime. US Dep. Agr. Production Res. Rep. 80, 1964.

sição e mineralização da matéria orgânica e pela fixação do N atmosférico (MALAVOLTA, 1985). O pH do solo é um importante parâmetro ambiental que pode afetar a formação de nódulos radiculares (VANCE et alii, 1988), principalmente na associação entre a alfafa e seu microsimbionte *Rhizobium meliloti*, que é considerada a mais sensível de todas às condições de acidez do solo (BURTON, 1972). Para este caso não é válida a afirmação de ADAMS & PEARSON (1967) na qual uma inibição significativa da atividade microbiana só ocorreria em solos fortemente ácidos, uma vez que a máxima nodulação e fixação de N₂ muitas vezes só são obtidas em pH igual ou maior que 6,0 (ANDREW & HUTTON, 1974; MAHLER, 1983).

Trabalhos desenvolvidos na década de 30 (POHLMAN, 1946) já demonstravam de forma conclusiva que a nodulação da alfafa era significativamente aumentada pela calagem, e que o número de nódulos só aumentava na porção da raiz que estava confinada à camada de solo calcariada. MOSCHLE et alii (1960), mesmo sem determinarem o teor de N nas plantas, concluíram através da coloração adquirida pela alfafa que o melhor metabolismo do nitrogênio foi obtido nos tratamentos que envolviam maiores doses de calcário. Nestes ambientes a população de *Rhizobium meliloti* é expressivamente incrementada (MAHLER, 1983).

Quando se discute as respostas das plantas à calagem, deve-se considerar, além do pH, o aumento no suprimento de Ca, que em muitos solos ácidos pode estar em concentrações limitantes à nodulação. A quantidade de Ca exigida no processo de infecção e iniciação dos nódulos são

bem maiores do que a requerida para o crescimento das raízes e parte aérea da planta hospedeira (MARSCHNER, 1986), o que traduz sua importância no processo.

Técnica de cultivo da alfafa em areia testando quatro níveis de pH (4,0; 4,5; 5,0 e 6,0) em combinação com duas concentrações de Ca (0,125 e 2,0 mM) mostrou que a máxima nodulação só foi obtida em pH 6,0 e 2,0 mM de Ca (ANDREW & HUTTON, 1974). Pesquisa mais recente desenvolvida por RECHCIGL et alii (1987) evidenciam a importância destes dois fatores para a fixação do N_2 . Eles registraram a fixação do nitrogênio em alfafa cultivada na presença de $Ca(OH)_2$, KOH e $CaSO_4$ e obtiveram aumentos significativos somente com a aplicação do primeiro. Concluíram que o aumento do pH sem a adição de Ca ou sua recíproca, não incrementam a fixação do N_2 , devendo ambos estarem associados em níveis adequados para o estabelecimento efetivo da simbiose.

Um método alternativo de estimular a fixação consiste na peletização das sementes de alfafa com calcário. A inoculação com "pelleting" mostra-se em muitos casos altamente eficiente, provocando boa nodulação e propiciando altas produções (LOPES et alii, 1968). Trabalho em vasos desenvolvido por CHOE et alii (1981) combinando calagem, inoculação e peletização forneceu os seguintes resultados: a porcentagem de nodulação foi 1,3% sem calcário e inoculante, aumentando para 37,7% com inoculação e 91,9% com inoculação mais peletização, com calcário mas sem ino-

culação a porcentagem de nodulação foi de 3,5%, com a inoculação aumentou para 84% e com inoculação mais pelletização atingiu 97,1%. Uma vez que a pelletização exige quantidades insignificantes de calcário, MURPHY et alii (1983) desenvolveram uma pesquisa em solo alofânico representativo da região sul do Chile, ricos em alumínio, ponderando que a prática usual de calagem nestes solos exige quantidades muito elevadas de calcário, inviabilizando economicamente o cultivo da alfafa. Seus resultados indicaram que a alfafa pode crescer bem em solos alofânicos usando sementes recobertas com calcário. Entretanto KOLLING & SCHOLLES (1980) salientam que é possível recomendar, em solos moderadamente ácidos, a pelletização das sementes como uma técnica auxiliar para obtenção de uma simbiose mais eficiente, porém não deve ser utilizada como substituto da correção da acidez do solo.

Uma vez que a reduzida fixação do N_2 parece ser um dos principais fatores que limitam o desenvolvimento da alfafa nos solos ácidos (REHCIGL et alii, 1988), investigações vem sendo realizadas tanto para isolar estirpes de *R. meliloti* suficientemente tolerantes às condições de solos moderadamente ácidos (RICE, 1982; HOWIESON & EWING, 1986) bem como para selecionar cultivares de alfafa mais adaptadas à solos ácidos (JO et alii, 1981; BROOKS et alii, 1982). A magnitude dos resultados obtidos por HEICHEL et alii (1984), que registraram uma fixação de 160 a 177 kg

N/ha durante o primeiro ano de cultivo da alfafa, chegando a 224 kg N/ha no quarto ano, justificam estes esforços.

Reações envolvendo o N são importantes no aumento da acidez do solo, inclusive nos sistemas simbióticos leguminosa x *Rhizobium*. JARVIS & ROBSON (1983a) obtiveram uma redução de 0,5 unidades no pH do solo após 65 dias de cultivo de *Trifolium subterraneum* L. inoculado com *R. trifolii* Dang, enquanto que MENGEL & STEFFENS (1984) verificaram que em 14 meses de cultivo de *Trifolium incarnatum* o pH reduziu de 7,2 para 4,5. JARVIS & ROBSON (1983b), além de registrarem uma queda no pH de 0,6 unidades devido ao cultivo de *T. repens* e *T. subterraneum* L., observaram um aumento do nível de Al trocável do solo e na concentração de Mn nas plantas. Para a alfafa, a quantidade de acidez produzida pode ser avaliada pelos resultados de LIU et alii (1990), onde para cada grama de N fixado ocorreu um efluxo de 42 mg de H^+ , que, segundo estes autores, pode significar a nível de campo uma produção anual de 15,2 kg de H^+ /ha. Tendo por base os valores anteriormente citados de HEICHEL et alii (1984) correspondentes ao quarto ano de cultivo da alfafa (fixação de 224 kg N/ha), a produção de H^+ seria de 9,4 kg de H^+ /ha/ano. Em face dos resultados obtidos, LIU et alii (1990) concluíram que a excreção de H^+ através da fixação simbiótica pelas leguminosas é uma importante fonte de acidez nos ecossistemas agrícolas, que pode, a longo prazo, reduzir o pH do solo e promover a lixiviação dos cátions

trocáveis e diminuição da saturação por bases.

2.4.2. Enxofre

Deficiências de enxofre nas culturas em diversas partes do mundo vem sendo observadas com maior frequência durante os últimos 20 anos e, em particular, nos últimos 10 anos (WELLS & DARTS, 1986). Segundo estes autores, vários fatores tem contribuído para aumentar o interesse e a necessidade da fertilização sulfatada, os quais incluem: a) conhecimento mais profundo da função do enxofre na produção das culturas; b) menor quantidade de enxofre atmosférico; c) menos enxofre sendo usado como impureza nos adubos; d) maior produtividade das culturas; e) redução das reservas de enxofre nas camadas superficiais do solo causado pela diminuição do teor de matéria orgânica e; f) diminuição no uso de enxofre nos pesticidas.

Estas alterações na produtividade e ambiente tornaram necessários o monitoramento do "status" do S na alfafa (LANYON & GRIFFITH, 1988), cultura que remove em torno de 2,7 kg de S por tonelada produzida (RHYKERD & OVERDAHL, 1972). Considerando uma produtividade média anual no Município de Bandeirantes próxima a 10 t/ha de feno (PEDROZO et alii, 1987), a exportação de enxofre atingiria valores próximos a 30 kg S/ha/ano. Ressalta-se que a produtividade tomada como exemplo é baixa, uma vez que alguns agricultores

locais conseguem produções 50% maiores que a média citada. Isto acentua a demanda e, conseqüentemente, o déficit nas lavouras não adubadas com fertilizantes portadores de S.

2.4.2.1. Enxofre no solo

O enxofre ocorre no solo em formas orgânicas e inorgânicas. Os principais minerais contendo enxofre nas rochas e solos são: gipsita ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anidrita (CaSO_4), epsomita ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), mirabilita ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), pirita e marcasita (FeS_2), esfarilita (ZnS), chalcopirita (CuFeS_2) e cobaltita (CoAsS), pirrotita ($\text{Fe}_{11}\text{S}_{12}$), galena (PbS), arsenopirita ($\text{FeS}_2 \cdot \text{FeAs}_2$) e pendlandita (Fe_9 ou Ni_9S_8) (TISDALE et alii, 1985). Através do intemperismo, o enxofre é liberado para a solução do solo e utilizado pelos microorganismos ou pelas plantas. Outras fontes que contribuem para o aporte de S nos solos incluem a água da chuva, a água de irrigação, a atmosfera, os fertilizantes e os pesticidas à base de S (BISSANI & TEDESCO, 1988).

O enxofre orgânico do solo pode ser dividido em duas frações: S ligado ao carbono e S não ligado ao carbono (MENGEL & KIRKBY, 1987). Exemplos deste último caso são o sulfato de colina, sulfatos fenólicos e polissacarídeos e lipídeos sulfatados, enquanto que o S ligado ao carbono é representado pelos aminoácidos cisteína e metionina e outros compostos não conhecidos (BISSANI & TEDESCO, 1988).

Embora, normalmente, o compartimento orgânico incorpore 90% do S total existente no solo, valores de até 95% tem sido registrados (WOLFFENBÜTTEL & TEDESCO, 1981).

As formas inorgânicas podem ser divididas em sulfato prontamente solúvel, sulfato adsorvido, sulfato insolúvel coprecipitado com carbonato de cálcio e compostos reduzidos de enxofre inorgânico (TISDALE et alii, 1985). Nos solos bem drenados, as duas primeiras frações prevalecem enquanto que a terceira é importante nos solos calcários. Em condições de inundação ou anaerobiose o sulfeto é a principal forma estável de S no solo. Embora o SO_2 atmosférico possa ser absorvido e utilizado pelas partes aéreas das plantas, a fonte de S mais importante é o íon sulfato da solução do solo absorvido pelas raízes (MARSCHNER, 1986), apesar de compreender menos que 10% do S total do solo (CALVET, 1986). Através de processos físicos, químicos e biológicos se estabelece um equilíbrio dinâmico entre as frações orgânicas, S-adsorvido e S-solúvel, o qual pode ser deslocado pela interferência de diversos fatores que irão determinar o aumento ou a diminuição do enxofre disponível (WOLFFENBÜTTEL & TEDESCO, 1981).

O sulfato adsorvido traz dois aspectos positivos na nutrição das plantas. Estando em equilíbrio com o $\text{SO}_4^{=}$ da solução, mantém o nível deste de acordo com os fatores quantidade e capacidade do solo, além de reduzir as perdas por lixiviação. Os íons sulfatos são usualmente consi-

derados como fraca ou moderadamente retidos pelo solo (CHAO et alii, 1962), o que favorece em algumas situações perdas próximas a 55 kg S/ha/ano da camada superficial do solo (ENSMINGER, 1954).

São diversos os fatores do solo que determinam sua capacidade adsorptiva para o sulfato. Entre todos porém, a quantidade e o tipo de colóides do solo, pH, concentração de sulfato e presença de outros íons na solução do solo, são considerados os mais importantes por alguns autores (TISDALE et alii, 1985). A importância da natureza do complexo coloidal e do teor de argila pode ser evidenciada pelos resultados de WOLFFENBÜTTEL & TEDESCO (1981), que obtiveram correlações lineares negativas significativas entre o teor de argila, % Fe_2O_3 , % Al_2O_3 e % de sesquióxidos no solo e o teor de S extraídos por H_2O , $Ca(H_2PO_4)_2$ e $Ca(H_2PO_4)_2 - 500$ ppm P em HOAc. Segundo ENSMINGER (1954), os óxidos de Al adsorvem mais $SO_4^{=}$ que os óxidos de ferro (limonita, hematita e goetita). Observou também que a caulinita apresentou elevada retenção de sulfato, porém, neste caso, não foi possível determinar a influência exercida pelos óxidos de alumínio livres presentes como impureza. Os resultados deste autor, mais os de CHAO et alii (1962) e HARWARD & REISENAUER (1966) evidenciam o efeito significativo dos óxidos de alumínio e de ferro livres na adsorção do sulfato e caracterizam a importância da natureza do complexo coloidal silicatado neste fenômeno, indicando a seguinte ordem de adsorção de $SO_4^{=}$: caulinita > ilita > montmorilonita.

A adsorção de $\text{SO}_4^{=}$ no solo é fortemente dependente do pH. Lixiviação mais intensa decorrente da menor retenção de S pelos colóides na camada superficial do solo em resposta à calagem foi detectada por ENSMINGER (1954). Aumento da quantidade de $\text{SO}_4^{=}$ na solução do solo na ordem de 17 vezes em consequência da elevação do pH de 5,0 para 7,6 foi registrado por ELKINS & ENSMINGER (1971). O sulfato extraído por água aumentou aproximadamente 6 vezes. Estas alterações elevaram significativamente a absorção do S pelas culturas testadas (soja e algodão). Incremento na absorção de S devido elevação do pH também foi obtido por BARNEY & BUSH (1982) na cultura da alfafa.

Além da calagem, a adição de fertilizantes fosfatados podem reduzir a adsorção de $\text{SO}_4^{=}$ pelos colóides. Conforme PARFFIT (1980), a afinidade dos ânions para os óxidos hidratados de Fe e Al em condições normais de pH segue geralmente a ordem: fosfato > arsenato > selenito = molibdato = fluoreto > sulfato = silicato > cloreto > nitrato > perclorato. Já HARWARD & REISENAUER (1966) citam que a força de retenção de ânions pelos solos pode ser assim ordenada: hidroxila > fosfato > molibdato > sulfato = acetato > nitrato = cloreto. Segundo estes mesmos autores, o fosfato desloca ou reduz a sorção de sulfato, mas o sulfato tem pouco efeito na sorção de fosfato. Trabalho a nível de campo demonstrou que a aplicação de superfosfato reduziu a

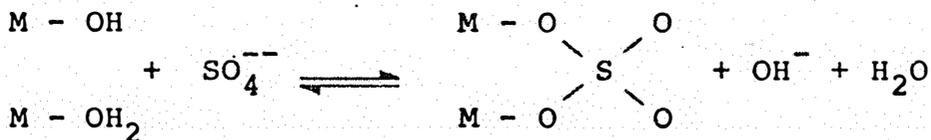
capacidade de retenção de sulfato em um solo franco argiloso (ENSMINGER, 1954).

Vários mecanismos tem sido propostos para explicar a adsorção do sulfato pelos constituintes do solo. FRIED & BROESHART (1967), revisando o assunto, citam como possibilidades a adsorção ou interação com a matéria orgânica, ligação à fase sólida através de cátions trocáveis, adsorção às cargas positivas na superfície das argilas, adsorção por substituição do hidróxido da superfície dos sesquióxidos, adsorção nas cargas positivas desenvolvidas em condições de baixo pH nos sesquióxidos, reações simultâneas de troca catiônica, hidrólise do Al e adsorção do sulfato. O fato do fosfato reduzir a sorção do sulfato indica que o último é retido por muitos dos mesmos compostos que fixam o fósforo (ENSMINGER, 1954).

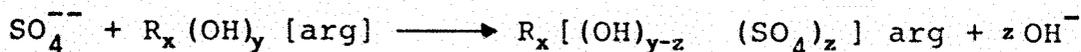
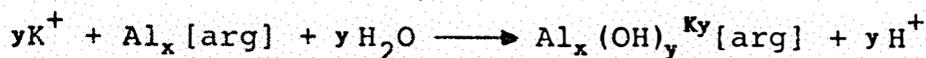
Para FRIED & BROESHART (1967), o mecanismo provável para esta adsorção nos solos minerais é a substituição da hidroxila associada com o Al ou Fe pelo sulfato, em um fenômeno similar à adsorção do fosfato seguida da adsorção de um cátion por uma reação de neutralização. Reações entre o SO_4^{--} da solução com a superfície dos colóides do solo podem ser ilustradas pelas equações a seguir, extraídas de:

a) BISSANI & TEDESCO (1988):

M = Óxido de Fe ou Al



b) TISDALE et alii (1985), expõem o postulado de outros pesquisadores, os quais tomam como exemplo um sistema com argilas homoiônicas saturadas com Al e com revestimentos de óxidos hidratados R (ferro e alumínio).



Neste modelo assume-se que o sítio de adsorção do K^+ originou-se da troca e/ou hidrólise do Al na superfície da argila. Como resultado desta hidrólise íons H^+ vão para a solução do solo. Ao mesmo tempo o SO_4^{--} substitui íons OH^- dos hidróxidos presentes na superfície das argilas, os quais reagem com os íons H^+ . Segundo estes autores o mecanismo proposto explica diversos fenômenos observados, entre os quais porque a redução do pH incrementa a adsorção do SO_4^{--} . Deve-se salientar também o efeito do baixo pH sobre o desenvolvimento de cargas positivas nos constituintes do solo que possuem caráter anfótero, tais como

os óxidos hidratados de Fe e Al e caulinita (CHAO et alii, 1962), os quais atrairão e adsorverão ânions como o SO_4^{--} .

Uma vez que as formas orgânicas constituem a maior parte do S do solo, a mineralização vem representar um papel importante na disponibilidade deste elemento para as plantas. Tem-se aí, novamente, a interferência do pH, uma vez que este pode ser considerado o principal fator que afeta a mineralização, devido ao seu marcante efeito na população e na atividade microbiana (BISSANI & TEDESCO, 1988). Resultados de pesquisas citadas por JACKSON (1967) mostraram que a elevação do pH de 4,0 para 5,0 triplicou a produção de sulfato após 3 meses de incubação.

Dada a complexa interação entre os fatores que governam a disponibilidade do S no solo e as próprias dificuldades envolvidas no processo analítico, este não é incluído nas análises químicas de rotina nos laboratórios do Brasil, a não ser quando solicitado. Neste caso, diversos extratores podem ser utilizados para servirem como orientação no diagnóstico do teor disponível deste elemento no solo. Embora pouco seja conhecido quanto à natureza do enxofre medido, o S removido por esses extratores tendem a cair nos seguintes grupos (CALVET, 1986): a) sulfato prontamente solúvel; b) prontamente solúveis e porções de sulfato adsorvido; c) prontamente solúveis, porções de sulfato adsorvido e porções de S orgânico. Segundo revisão de VITTI (1989), o enxofre representado por este último grupo pode

ser extraído por soluções ácidas de fosfatos (fosfatos de cálcio e sódio, em ácido acético 2,0 N), solução de HCl 0,01 M, solução de bicarbonato de sódio, solução de Morgan (NaOAc + HOAc) e NH_4OAc 0,5 N + HOAc 0,25 N, dentre outras. A inclusão de frações do S orgânico é importante na avaliação do poder de suprimento do solo para a produção da alfafa, conforme concluíram BUCHHOLZ & WHITNEY (1985).

Resultados analíticos sobre a disponibilidade de enxofre para a alfafa no Brasil são escassos, principalmente aqueles envolvidos em estudos de correlação e/ou calibração. NASCIMENTO & MORELLI (1980) trabalharam com amostras superficiais de dezesseis solos do Rio Grande do Sul, em casa de vegetação e concluíram que o teor de 6 ppm de $\text{S}\cdot\text{SO}_4^{--}$ (extraído por solução com 500 ppm de P, na forma de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$, em HOAc 2N) pode ser considerado como o nível crítico abaixo do qual é provável a deficiência de enxofre para a cultura da alfafa. HOEFT et alii (1973), trabalhando com o mesmo extrator, concluíram que a probabilidade de resposta da alfafa ao S será pequena e alta quando o solo apresentar teores superiores e inferiores a 10 e 6 ppm, respectivamente. Porém, em trabalho envolvendo oito solos deste mesmo estado, WOLFFENBÜTTEL & TEDESCO (1981) não obtiveram correlação significativa entre o S extraído por quaisquer das soluções utilizadas (água destilada e deionizada, a frio; solução aquosa de fósforo monocálcico 0,01 M e solução de ácido acético 2 N, contendo 500 ppm de P, na for

ma de fosfato monocálcico) e parâmetros da cultura, como rendimento da matéria seca ou enxofre absorvido. Não somente estes resultados, mas também aqueles obtidos por NASCIMENTO & MORELLI (1980), se enquadram nas observações feitas por ALVAREZ (1988), de que mesmo sendo significativas as correlações entre o enxofre disponível e dados de respostas das culturas, a capacidade de previsão do método é relativamente baixa para o conjunto de solos estudados, devido à definição de um único nível crítico para todos eles. Segundo este mesmo autor, existem evidências de que se consegue melhor capacidade preditiva da disponibilidade de enxofre na análise de solos, quando se determinam níveis críticos variáveis em função da capacidade tampão de sulfatos (CTS).

Para trabalhos de calibração de enxofre em condições de campo deve-se levar em consideração a movimentação descendente do S no perfil do solo (ALVAREZ, 1988) e a significativa adsorção de sulfatos no subsolo de "solos tropicais" (VITTI, 1989), que acumulando-se, poderão, em alguns casos, suprir a necessidade das plantas que lançarem suas raízes até esta camada. Isto, não somente torna necessário amostragens mais profundas, quando se trabalha com este elemento no campo, como dificulta a extrapolação de resultados obtidos em casa de vegetação.

2.4.2.2. Enxofre na planta

Embora o SO_4^{--} seja a forma mais importante

de absorção pelas raízes (MARSCHNER, 1986), o dióxido de enxofre (SO_2) também é absorvido pela parte aérea das plantas. Este mecanismo permite, assim, aliviar a deficiência de enxofre em alfafa exposta a baixas concentrações de SO_2 na atmosfera (LOCKYER & COWLING, 1981). O enxofre desempenha papel importante na vida vegetal como constituinte do material orgânico, por fazer parte de compostos envolvidos em processos enzimáticos e também por participar de reações de oxi-redução. Desta forma o S é constituinte dos aminoácidos cisteína e metionina, que são considerados os dois mais importantes aminoácidos contendo S nas plantas, e que ocorrem como ácidos livres e na formação de proteínas (MENGEL & KIRKBY, 1987). Sob condições de deficiência deste elemento, a síntese de proteína é inibida (MARSCHNER, 1986). Plantas deficientes em S também mostram redução no conteúdo de clorofila (DeBOER & DUKE, 1982) e na resistência estomatal, aumentando a transpiração (LOCKYER & COWLING, 1981).

Segundo BEATON & WAGNER (1985) existe uma relação particular entre N e S, uma vez que ambos são constituintes das proteínas e estão envolvidos na formação de clorofila. Também de considerável importância é a função do enxofre no funcionamento da reductase do nitrato, enzima responsável pela conversão do NO_3 absorvido pelas plantas. Desta maneira, em condições de deficiência de S, a inibição da síntese de proteínas está correlacionada com uma acumulação de nitrogênio orgânico solúvel e nitratos (MARSCHNER,

1986). O conhecimento da interação N:S permite utilizá-la como parâmetro na avaliação do estado nutricional das plantas (VITTI et alii, 1988).

Plantas como as leguminosas, que acumulam altos teores de proteínas, exigem quantidades mais elevadas de enxofre para o seu desenvolvimento, tendo ainda este elemento nestas plantas papel importante na formação e desenvolvimento dos nódulos, bem como no processo de fixação do N_2 (VITTI & NOVAES, 1986). Pesquisas desenvolvidas por DeBOER & DUKE (1982) mostraram que nos estádios iniciais de deficiência de enxofre a fixação do N_2 é significativamente reduzida na alfafa, enquanto que outras funções fisiológicas, como a fotossíntese, permanecem inalteradas. Esta redução na fixação do N_2 pode causar uma ampla variedade de disfunções fisiológicas que podem, eventualmente, prejudicar o desenvolvimento. Incremento na nodulação de raízes de alfafa, devido a fertilização com S, foi obtido por BORDELEAU et alii (1981) com experimento de curta duração em casa de vegetação. Em experimento semelhante, LOPEZ-JURADO & HANNAWAY (1985) constataram que a adição de 2,5 mg S/litro de solução nutritiva proporcionou a maior resposta na produção, aumento na taxa de redução de acetileno, aumento no conteúdo de N total, maior porcentagem de recuperação de S e porcentagem de aumento no teor de N devido a fixação de N_2 . Trabalhos a nível de campo tem confirmação os resultados obtidos em casa de vegetação e a importância do enxofre na fixação simbiótica do N_2 (LOPEZ-

JURADO, 1985). Aumento de 47% no número de nódulos em alfafa cultivada num solo arenoso foi observado por COLLINS et alii (1986) devido a adição de 28 kg S/ha. O número de nódulos por sua vez se correlacionou de forma significativa e positiva com a fixação do dinitrogênio.

Embora estudos passados tenham usado a cloro se nas folhas como um critério de deficiência de S nas leguminosas (DeBOER & DUKE, 1982), atualmente esta diagnose e a predição do requerimento de fertilizante é baseada na análise foliar, a qual estabelece uma concentração crítica do nutriente (ou de uma fração do nutriente) abaixo do qual o desenvolvimento ou a produção da cultura é restringido (BATES, 1971). Concentração no tecido associada com 90% da produção máxima tem sido usada por alguns pesquisadores (MUNIZ et alii, 1985 e CARVALHO et alii, 1989) para a determinação do nível crítico, o qual corresponde sempre a uma faixa e nunca em um ponto (MALAVOLTA, 1988).

As análises químicas mais freqüentes de enxofre nas plantas se referem à determinação do S-total e $S-SO_4^{2-}$ (ALVAREZ, 1988). Embora a segunda forma seja considerada como um indicador mais seguro do "status" nutricional de S nas plantas (MARSCHNER, 1986), a primeira normalmente é mais utilizada nos trabalhos de pesquisa. WESTERMANN (1975) relacionou os índices de S na parte aérea das plantas (S-total, $S-SO_4^{2-}$ e relação N:S) com a produção da alfafa e considerou que todos apresentaram resultados sa-

tisfatórios para diagnosticar a deficiência de S quando esta cultura se apresentar no início do florescimento. Neste caso, o nível crítico se situou na faixa de 0,15 a 0,20% ou 0,05% de S-total e $S-SO_4^{2-}$, respectivamente. Níveis críticos para S-total de 0,20% a 0,23% foram obtidos por VARKAS & HRUSOULES (1984) e REHM (1987). Já BAILEY (1986) obteve na maior produção um teor de 0,26% S, enquanto que para GUPTA & McLEOD (1984) não se deve esperar resposta da alfafa a S quando esta apresentar teores superiores a 0,14-0,18%. Embora grande parte dos trabalhos realizem a determinação dos nutrientes em toda a parte aérea, outras partes da planta podem ser utilizadas, conforme sugerem MEYER & MARTINS (s.d.). Analisar somente a massa coletada nos últimos 15 cm da alfafa é outra possibilidade, sendo que para este caso considera-se uma faixa de suficiência de 0,3 a 0,5% S (LANYON & GRIFFITH, 1988).

Considerando a validade da interação fisiológica entre o N e o S, vários pesquisadores a utilizaram em pesquisas com a alfafa. WESTERMANN (1975) obteve respostas à fertilização sulfatada quando a relação N:S era superior a 17-18. Metson¹, citado por LOCKYER & COWLING (1981), revendo a literatura sobre a exigência de S pela alfafa, concluiu que a relação N:S próxima a 11:1 poderia ser considerada como crítica, com relações superiores indicando defi-

¹METSON, A.J. Sulfur in forage crops. The Sulphur Institute, Washington. 24p. (Tech. Bull. nº 20).

ciência. Porém, isto não pode ser aceito de forma absoluta pois relações como 16 a 17:1 (BANSAL & SINGH, 1981), 14 a 21:1 (NUTTALL, 1985), 14:1 (BAILEY, 1986) e 16:1 (LOPEZ-JURADO & HANNAWAY, 1986), foram compatíveis com elevadas produtividades.

Trabalhos de adubação envolvem normalmente efeitos de doses e fontes de S para a cultura. Segundo RHYKERD & OVERDAHL (1972), os solos podem ser adubados com S elementar, gesso, sulfato de potássio, sulfato duplo de potássio e magnésio e o superfosfato simples. Experimentos de campo tem comprovado a eficiência do gesso no aumento da concentração de enxofre nos tecidos da alfafa (GUPTA & McLEOD, 1984). Solos de textura arenosa e com baixos teores de matéria orgânica são os que exibem a maior exigência de S complementar (LANYON & GRIFFITH, 1988). Nestes casos doses entre 50 e 60 kg S/ha a cada três anos são recomendados (RHYKERD & OVERDAHL, 1972). Porém em solos arenosos irrigados as exigências são substancialmente maiores, podendo chegar a dose anual de 56 kg/ha (REHM, 1987). A produtividade esperada deve portanto ser considerada na programação anual de adubação.

Pesquisas envolvendo a aplicação de enxofre em alfafa nos solos brasileiros são escassas e se limitam a trabalhos desenvolvidos em casa de vegetação. Na década de 70, JONES et alii (1975) confirmaram a necessidade deste nutriente em Latossolo Vermelho Escuro argiloso do Estado

de São Paulo, utilizando a técnica do elemento faltante. Em outro experimento com o mesmo tipo de solo, JONES & QUAGLIATO (1970) conseguiram respostas até a dose de 20 kg S/ha. Trabalhos posteriores realizados no Rio Grande do Sul evidenciaram deficiência de enxofre para a alfafa em 4 (NASCIMENTO & MORELLI, 1980) e em 7 (WOLFFENBÜTTEL & TEDESCO, 1981) diferentes tipos de solo. Nesta última pesquisa os maiores rendimentos de matéria seca foram obtidos com a adição de 20 a 40 ppm de S.

2.4.3. Potássio

Segundo VOUGH (1988), altas produções de alfafa somente podem ser conseguidas em condições adequadas de fertilização, particularmente com potássio. Produtividades recordes próximas a 25 t/ha foram obtidas nos Estados Unidos por JONES (1988), as quais são justificadas pelo autor através do uso de variedades melhoradas, programas de cortes mais intenso, um completo sistema de manejo e taxas maiores de adubação potássica.

O potássio é de elevada importância para as leguminosas em termos de produção, qualidade e longevidade do stand (GRIFFITH, 1974). Benefícios tais como: a) assegurar cortes mais frequentes e alfafa de melhor valor alimentício (mais digestível); b) propiciar stand mais vigoroso permitindo menor incidência de plantas daninhas e favorecer

um equilíbrio nos sistemas consorciados alfafa-gramínea e;
c) reduzir os prejuízos por ataque de pragas, são salientados por TESAR (1968).

2.4.3.1. Potássio no solo e produção da alfafa

A fertilidade do solo e a prática da adubação potássica são elementos chaves no manejo da alfafa para obtenção de produções elevadas. Conforme a produtividade se eleva a necessidade em nutrientes aumenta, demonstrando que altos rendimentos não podem ser obtidos sem controle adequado do nível dos nutrientes no solo. A Figura 2, extraída de SHEARD (1988), indica que para se atingir a relação K_2O removido : K_2O aplicado em alfafais de alta produtividade é necessário aplicar entre 400 a 450 kg K_2O /ha, enquanto que em lavouras de baixa produtividade a exigência seria em torno de 100 kg K_2O /ha.

RITCHEY (1982) revisando a literatura observou uma amplitude de variação dos níveis críticos em solos brasileiros de 0,13 a 0,20 meq/100 g de K, dependendo dos tipos de solo e planta. As culturas não diferem apenas nas suas exigências e na capacidade de tolerar deficiência de K. Segundo a POTAFOS (1990), com grande probabilidade as características de remoção diária deste nutriente pelas culturas são tão importantes quanto as suas necessidades to-

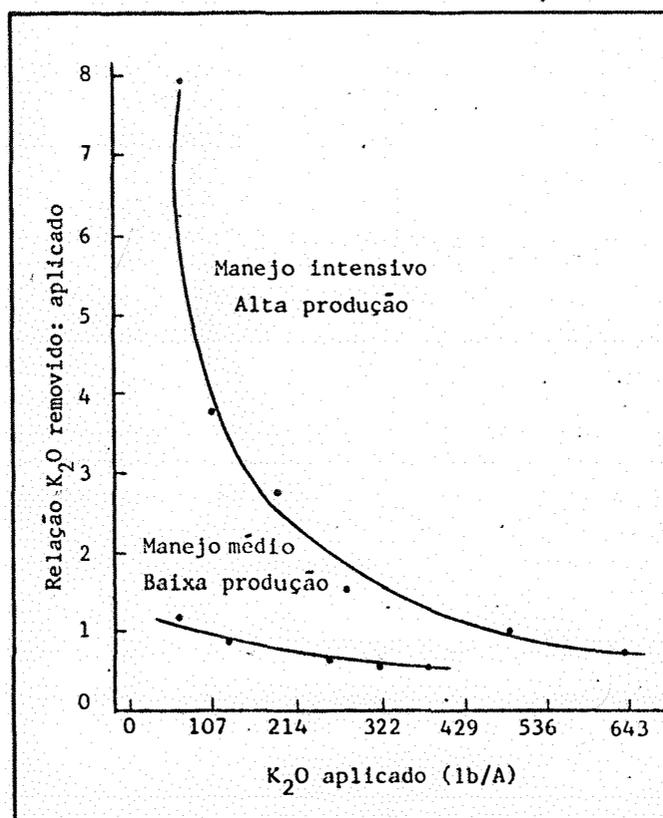


Figura 2 - Relação de K₂O removido: aplicado em sistemas de manejo médio e intensivo de alfafa (SHEARD, 1988).

tais. Uma vez que são comuns produções de 1,5 a 2,0 t/ha de feno de alfafa num prazo de 35 a 40 dias, conclui-se que o teor de K disponível no solo deve ser elevado para atender a demanda. Conforme LANYON & GRIFFITH (1988) durante o período de crescimento ativo das raízes de alfafa poderá ser criada uma zona de deficiência na rizosfera mesmo em solos com altos teores de K disponível. Os fatos mencionados sugerem que esta cultura exige níveis críticos no solo elevados, devendo ser portanto bastante responsiva à adubação

potássica.

Considerando que nas regiões úmidas o potássio provavelmente seja o nutriente que, após alguns cortes, ofereça maior limitação em lavouras de alfafa já instaladas, SEAY et alii (1949) pesquisaram mecanismos que propiciassem detectar através de análise de solo qual seria a quantidade necessária de potássio trocável suficiente para assegurar produções satisfatórias. Utilizando amostras de solo e plantas coletadas em 44 locais diferentes, desenvolveram uma equação que relacionava a % K na planta com o teor de K^+ trocável do solo. A partir da introdução na equação do nível crítico de K nos tecidos chegaram à conclusão que era necessário pelo menos 200 kg K trocável/ha (0,25 meq/100 ml de K). Aumento na produção de feno próximo a 2 ton/ha/ ano foi conseguido por ATTOE & TRUOG (1949) ao passar o teor de K trocável do solo de 0,15 para 0,30 meq/100 ml. MARKUS & BATTLE (1965), em experimento de longa duração, constataram que em um solo textura franco com CTC próximo a 11 meq/ 100 ml e em torno de 0,11 meq/100 ml de K, foi necessário a aplicação de 190 kg K/ha/ano. Esta dose anual garantiu um conteúdo de 0,15 a 0,30 meq/100 ml de K na camada de 0-15 cm e um mínimo de 0,11 a 0,12 meq/100 ml de K na camada de 15-30 cm do solo, teores estes necessários para manter a persistência e a produtividade da alfafa durante os 9 anos de pesquisa efetuados. Quando doses inferiores de 93 kg/ha/ano de K e a 190 kg/ha/ano de K foram aplicadas, os teores iniciais de K

foram exauridos na camada superficial (0-15 cm) e na subsuperficial (15-30 cm), respectivamente. Também GERWIG & AHLGREEN (1958) trabalhando com solo textura franco dos Estados Unidos conseguiram aumento na produção de alfafa até a dose de 226 kg/ha de K.

Em solos canadenses, arenosos e com baixo teor de K trocável (aproximadamente 0,08 meq/100 ml de K), BAILEY (1983) verificou que doses anuais de 200 kg/ha K foram necessários para manter máximos rendimentos, enquanto que em solos argilosos com altos teores de K trocável, 50 kg/ha de K supriu a demanda. Baseado nos resultados obtidos, estes autores concluíram que o nível inicial de K trocável pode não ser o único critério para estimar o potencial de disponibilidade, uma vez que existe a possibilidade de contribuições de frações do K não trocável durante a estação de crescimento. Dada a mineralogia predominante nos solos brasileiros, a contribuição desta fração deve ser pouco importante em nossas condições (RAIJ, 1991).

No Brasil são raras as pesquisas com adubação potássica da alfafa. Em uma delas KORNELIUS (1972) verificou a influência da calagem e da adubação fosfatada e potássica na produção desta forrageira em seis solos do Rio Grande do Sul. O teor inicial de potássio nos mesmos variou de 0,06 a 0,23 meq/100 g e a dose testada foi de 400 ppm (cerca de 800 kg/ha de K), que pode ser considerada bastante elevada. Os resultados foram positivos em cinco solos,

porém somente após a correção da acidez e fornecimento de fósforo. Por outro lado, JONES et alii (1970) não conseguiram resposta à adição de potássio em um Latossolo do Estado de São Paulo que apresentava teor inicial de 0,04 meq/100 g K. A falta de resposta, segundo os autores, deveu-se à elevação exagerada do pH de 4,7 para 7,6 como consequência da adição de CaO + MgO, gerando outro fator limitante que não o potássio. Além do pH vários outros fatores podem afetar a resposta ao potássio aplicado, tais como nível de fósforo (DRAKE & STEWART, 1950 e WALLACE, 1990), altos níveis iniciais de fertilidade e aspectos climáticos, como baixa precipitação (GHALAIE, 1985). Além disso, deve-se considerar as diferenças entre cultivares em tolerarem e se desenvolverem satisfatoriamente em condições de fertilidade marginal de K no solo, conforme concluíram ROMERO et alii (1981).

A adição de sais neutros como o CaCl_2 pode incrementar a concentração de Mn na solução do solo e favorecer sua absorção a níveis tóxicos, como consequência das reações de troca entre o cátion do sal e o Mn adsorvido no complexo de troca (ADAMS & PEARSON, 1967). A mesma reação ocorre quando da aplicação do gesso, que pode portanto corrigir eventuais deficiências (NOVAIS et alii, 1989) ou incrementar a toxidez de Mn (PAVAN, 1986) em solos ácidos. Seguindo o mesmo raciocínio, a aplicação de cloreto de potássio também aumenta o nível de Mn na solução, conforme observado por KORNELIUS (1972). Este autor verificou que a apli

cação de KCl ao solo sem calcário prejudicou e em alguns casos impediu o crescimento da alfafa como consequência da maior absorção de Mn pelas plantas. Somente após a correção do pH se constatou benefícios pela aplicação do KCl.

JACKSON et alii (1966) desenvolveram um trabalho para analisar o efeito da aplicação de diferentes sais na absorção de manganês pelo *Phaseolus vulgaris*. Verificaram que somente o KCl e o CaCl_2 elevaram o teor de Mn nas folhas, o mesmo não ocorrendo com o K_2SO_4 , fato que os levou a concluir que o incremento de Mn associado com produtos a base de Cl provavelmente não se deve ao efeito salino do fertilizante. Deve ser ressaltado também que a resposta à adição de K pode ser modificada pelo pH do solo através do seu efeito sobre o Al tóxico, de forma análoga ao Mn. McLEOD (1965b) sugere em seu trabalho que a ausência de resposta ao potássio pode ser devido as reações de troca entre o Al adsorvido e o K aplicado, afetando o crescimento da cultura da alfafa. Neste caso o pH estava abaixo do adequado para a cultura.

2.4.3.2. Potássio na planta

O potássio tem duas principais funções nas plantas: a) desempenha um papel vital e insubstituível em certos processos metabólicos incluindo a síntese de proteínas e a translocação dos produtos da fotossíntese e, b) pa-

rece ser o cátion preferido para a geração da pressão osmótica e conseqüente turgor celular. Esta última função exige quantidades significativamente superiores à primeira, o que explica porque as plantas acumulam bastante potássio (JOHNSTON & GOULDING, 1990).

A maioria dos nutrientes minerais na alfafa se encontra em maior proporção nas folhas, à exceção do potássio que apresenta concentração um pouco superior nos talos (HAAG & HASS, 1982). Resultados de PETKOV (1981) acusaram teores de 49% e 51% de K nas folhas e talos, respectivamente, em relação ao total acumulado na parte aérea. Somente uma pequena parte deste potássio, 0,7 a 1,5%, se encontra na parede celular, conforme determinaram WHITEHEAD et alii (1985), em células das folhas e talos da alfafa, com o restante se concentrando principalmente no citoplasma. Constataram também que entre os macronutrientes o K é o mais solúvel em água, com esta fração superando a 90% do total existente na planta. A alta concentração no citoplasma e a elevada solubilidade justificam sua contribuição à manutenção do potencial osmótico das células bem como sua mobilidade nas plantas em todos os níveis (dentro das células ou mesmo no transporte a longa distância via xilema e floema), segundo cita MARSCHNER (1986). O papel do potássio no citoplasma e vacúolo foi considerado por LEIGH & JONES (1984) para discutirem as respostas no desenvolvimento das plantas em função deste nutriente. Estes sugerem que conforme a concentração

de K diminui, a concentração no citoplasma em níveis ótimos para os processos metabólicos dependentes de K é inicialmente mantida às expensas do K vacuolar, enquanto que outros solutos são canalizados para o vacúolo para manter o turgor. Subseqüente declínio no teor de K envolve redução na concentração do K citoplasmático e diminuição do desenvolvimento da planta. Eles calculam que em tecidos vegetais maduros isto ocorrerá numa concentração similar à verificada no nível crítico (quando se obtém 90% do crescimento máximo).

De uma forma mais específica, diversas funções essenciais ao desenvolvimento vegetal são atribuídas ao potássio, tais como (SANDERS, 1988): ativação enzimática, uso mais eficiente da água, fotossíntese, transporte de açúcares, nutrientes e água, síntese de proteínas e amido, incremento na qualidade do produto, maior resistência a doenças, pragas e frio, entre outros. Alguns destes efeitos, diretamente relacionados com a alfafa são citados a seguir. Em experimentos conduzidos em casa de vegetação PEOPLES (1982) verificou que a fotossíntese e a fotorespiração foram significativamente reduzidas em condições de média e severa deficiência de K, que por sua vez aumentou a resistência do mesófilo à difusão do CO_2 . Respiração no escuro aumentou significativamente em condições de deficiência severa de K. Este autor constatou ainda que em folhas deficientes neste nutriente a síntese de ribulose 1,5-bifosfato carboxilase diminuiu. Por outro lado, FISCHER (1968) apre-

sentou a primeira evidência experimental dando suporte à hipótese da acumulação de K nas células-guardas favorecendo a abertura dos estômatos. COOPER et alii (1967) demonstraram a influência do K sobre a assimilação de CO_2 , desenvolvimento e características morfológicas da alfafa. Concluíram que a taxa de acumulação foliar, tamanho da folha, peso por unidade de área, número e abertura de estômatos, eficiência na absorção de CO_2 e taxa de fotossíntese líquida aumentaram devido à adição de K. Segundo SANDERS (1988) o papel do K na ativação de enzimas e o envolvimento na produção de ATP são provavelmente mais importantes para a atividade fotossintética que sua atuação sobre a atividade estomatal.

Entretanto, para alguns autores, a nutrição potássica pode ser mais importante para o transporte a longa distância dos fotoassimilados do que para a fotossíntese (HEICHEL et alii, 1988). Os açúcares produzidos na fotossíntese são transportados através do floema para outras partes da planta para utilização e armazenamento. Este sistema de transporte utiliza energia na forma de ATP, a qual tem sua produção limitada na falta de K. Segue-se que o processo de transporte é afetado, resultando numa acumulação de fotossintatos nas folhas e redução na fotossíntese (SANDERS, 1988). Contudo, a ação direta do K foi comprovada por HARTT (1969), que demonstrou que o efeito da deficiência de K na redução da translocação de produtos da fotossín

tese é primário e não secundário como consequência, por exemplo, de sua interferência na taxa de desenvolvimento da planta ou fixação de carbono. Conforme detalhado no início desta revisão, as reservas presentes nas raízes da alfafa são mobilizadas após o corte para sustentar o desenvolvimento inicial dos brotos oriundos da coroa, até que estes produzam suficiente área foliar. A deficiência de K portanto afetaria a acumulação dos carboidratos no sistema radicular, comprometendo o perfilhamento futuro da planta. Este fato foi constatado por McLEOD (1965a), utilizando uma técnica que consistiu de se pesar a massa de brotos produzidos no escuro por raízes e coroas de plantas cultivadas previamente em solos com diferentes níveis de fertilização potássica. A produção de massa foi registrada até a completa exaustão das reservas destes órgãos. Naquelas plantas cultivadas previamente nos solos com maior nível de adubação potássica, a produção de perfilhos resultou numa massa seca igual a praticamente o dobro daquela obtida nas plantas não adubadas. Segundo o autor, o método utilizado fornece boas estimativas das reservas nutritivas acumuladas nas raízes, porém não as identifica qualitativamente.

Desta forma, os efeitos diretos e indiretos do potássio no armazenamento de reservas orgânicas nas raízes implicarão na longevidade da cultura no campo. Neste sentido se reconhece a influência deste nutriente na manutenção de stands mais persistentes e vigorosos suficientes pa-

ra suportar o frio e a concorrência com ervas daninhas (TE-SAR, 1968).

Resultados de nove anos de pesquisa mostraram que a manutenção de stand produtivo e de maior longevidade só foi alcançado com aplicações anuais de 190 kg/ha de K (MARKUS & BATTLE, 1965). KELLING & ERICKSON (1984) verificaram que a sobrevivência da população de plantas foi significativamente potencializada pela adubação potássica em todos os solos que apresentaram conteúdos inferiores a 170 kg K/ha. Tendo como base a média dos resultados obtidos em três anos de cultivo, GERWIG & AHLGREN (1958) constataram que o tratamento sem K reduziu significativamente o número de plantas/m² em relação a todos os outros tratamentos. Os autores concluíram que todos os resultados pertinentes ao potássio indicaram que se este nutriente não estiver presente em quantidade suficiente, a sobrevivência da planta é impossível.

De uma forma geral, deficiências de outros elementos minerais, que não o nitrogênio, podem reduzir a fixação de N₂, mas na maioria dos casos tais efeitos provavelmente são produzidos por uma depressão geral no desenvolvimento das plantas (VANCE et alii, 1988). Seedlings de alfafa inoculados com *Rhizobium meliloti* apresentaram maior nodulação com aumento nas doses de K (GIROUX & BORDELEAU, 1984). Experimento com ¹⁴C mostrou que plantas de alfafa bem supridas de potássio acumulam nos seus nódulos quantida-

des significativamente maiores deste elemento em relação às mal supridas (BARTA, 1982). Este autor concluiu que a maior taxa de fixação de N_2 durante o desenvolvimento da alfafa, em plantas bem supridas com K pode ser resultado do maior transporte de assimilados para os nódulos e utilização para síntese de aminoácidos. É interessante ressaltar a conclusão de BAILEY (1983), na qual, aplicações de fertilizantes potássicos para a alfafa, mesmo em taxas que levem a um consumo de luxo, podem ser benéficas à cultura devido ao incremento que pode ocorrer na concentração de N na forragem.

Uma das qualidades forrageiras da alfafa é a quantidade de proteínas produzida por área. As pesquisas tem mostrado que o K é exigido nos principais estágios da síntese de proteínas (SANDERS, 1988), e que a "leitura" do código genético nas células vegetais que desencadeiam a produção de proteínas e enzimas que regulam todos os processos de crescimento é impossível sem K em nível adequado. FEIGENBAUM & MENGEL (1979) reportam que a síntese de proteínas em alfafa foi influenciada em maior proporção pela deficiência de K do que pela fixação de N_2 . Eles atribuíram ambas as respostas a um suprimento de energia em nível sub-ótimo na planta deficiente em K.

Além das funções acima mencionadas outras são citadas na literatura e confirmadas em pesquisas envolvendo a alfafa, como as que relacionam a nutrição potássica com maior resistência ao ataque de doenças como *Phytophthora*

(KELLING et alii, 1984) e *Sclerotinia* (PONTAILLER, 1980), e de pragas como cigarrinhas (TESAR, 1968). Alfafa nutrida adequadamente com K suporta melhor as temperaturas muito baixas, garantindo a sobrevivência durante invernos rigorosos (ATTOE & TRUOG, 1949; JUNG & SMITH, 1959 e BAILEY, 1982). Maior resistência à seca é outro benefício constatado na alfafa (PONTAILLER, 1980). É interessante evidenciar os resultados positivos obtidos por BARBARICK (1985) quando aplicou doses crescentes de K em solo com alto teor deste nutriente. A conclusão do autor foi de que a resposta na produção não foi de natureza nutricional, mas sim resultado da supressão na absorção de Na.

O estabelecimento de concentrações adequadas de K nas plantas e a determinação quantitativa destes teores associados com máximas produções é uma técnica utilizada no diagnóstico da situação nutricional da cultura e de respostas à fertilizantes. Porém a determinação do nível crítico dos nutrientes nas plantas tem suas limitações, exigindo a adoção de determinados critérios para sua interpretação. Os problemas relacionados com o uso de análises químicas de plantas e uma discussão sobre os fatores que afetam a concentração crítica dos nutrientes são abordados com detalhes em ANDREW (1968) e BATES (1971), respectivamente. Este último autor conclui que a interação entre nutrientes e os fatores climáticos são aspectos que merecem uma grande atenção nas pesquisas envolvendo níveis críticos. O fenô-

meno conhecido por "efeito de diluição" ou sua recíproca, o "efeito de concentração", deve ser considerado na interpretação dos resultados (JARREL & BEVERLY, 1981). É importante salientar, portanto, que a concentração crítica de um nutriente é aquela concentração na qual a taxa de desenvolvimento começa a diminuir, quando comparada com plantas exibindo elevadas concentrações de nutrientes, assumindo que todos os outros fatores estão presentes em condições não limitantes (ULRICH, s.d.).

Diversas pesquisas tem demonstrado o efeito produzido por diferentes condições ambientais na composição química das plantas. SMITH (1969 e 1971) verificou, na alfafa, que a porcentagem de K nos tecidos foi marcadamente influenciadas pela temperatura. Concluiu que a menor porcentagem de K no ambiente mais frio foi consequência, em parte, da reduzida absorção do solo e da baixa translocação nos tecidos. Redução na concentração de K por efeito de diluição, como consequência do estímulo ao desenvolvimento da alfafa por aumento no comprimento do dia e da intensidade luminosa (LAWTON & TESAR, 1958) e pela chuva (MARKUS & BATTLE, 1965) são outros exemplos de como as condições climáticas podem interferir nos resultados finais. Este aspecto é relevante para o caso de culturas como a alfafa, que produzem sistematicamente durante as quatro estações do ano. Fatores ligados à planta também devem ser considerados, uma vez que os teores dos elementos minerais na alfafa se distribuem de

maneira desigual nas folhas e nos caules. Além disso, segundo SMITH (1970), a segmentação da planta de alfafa a partir do colo até o seu ápice mostra uma composição mineral variável, embora para o K não tenha sido possível detectar um padrão definido. Apesar do ciclo relativamente curto entre cortes, a alteração no conteúdo de nutrientes nas plantas durante o período é expressiva, conforme detectaram KIM BROUGH et alii (1971). Estes autores registraram uma rápida redução no teor de K com o avanço da maturidade, caindo de 2,26% aos 18 dias após o corte para 1,57% aos 39 dias, ou seja, do período de botão floral até o florescimento pleno a concentração de K reduziu cerca de 30,5%. Os valores de correlação obtidos entre o teor de K nos tecidos e a produção, geralmente decrescem rapidamente com cada semana de atraso no corte devido o avanço na maturidade da alfafa. Os mesmos autores constataram a presença de diferentes teores de K associados com máxima produtividade em épocas distintas do ano (julho e agosto).

Observa-se portanto que a associação entre a produção da alfafa e a concentração de potássio é influenciada por diversos fatores, como estação de desenvolvimento, maturidade e partes da planta, o que torna difícil estabelecer um nível ótimo ou crítico. As razões acima mencionadas justificam a variação obtida por diferentes pesquisadores, quando relacionaram % de K com a produção máxima ou com 90% da produção máxima (nível crítico). Desta forma GERWIG &

AHLGREN (1958), ANDREW & ROBINS (1969), KIMBROUGH et alii (1971), SMITH et alii (1982) e MEYER & MARTIN (s.d.) reportam como adequadas ou mínimas necessárias, as concentrações de 1,42 e 1,84%; 1,2%; 2 a 4%; 3% e 1 a 1,2% de K, respectivamente. Além destes, LAWTON & TESAR (1958) constataram que mesmo em concentrações de K inferiores a 1% a produtividade foi elevada e o stand vigoroso. Os valores reportados se referem à teores de K em toda a parte aérea da planta, porém, para os 15 cm superiores é sugerido um nível crítico de 2,5% (LANYON & GRIFFITH, 1988). A época de corte considerada nestes trabalhos varia da pré-floração até o florescimento pleno da cultura.

A média dos valores de concentração citados está em torno de 2,0% K. Considerando uma produção anual próxima a 15 ton/ha de feno, a exportação deste nutriente na forragem atingiria a expressiva quantidade de 260 kg/ha/ano de K.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e aspectos climáticos da região

O experimento foi instalado na casa de vegetação da Fundação Faculdade de Agronomia "Luiz Meneghel", localizada no município de Bandeirantes, Estado do Paraná. Este município está situado à 21°15' de latitude Sul e 50°23' de longitude Oeste e uma altitude média de 440 m, e se encontra dentro de uma zona submetida ao clima tropical de altitude, correspondendo a uma faixa de transição das regiões tropicais para as subtropicais. As temperaturas médias oscilam de 17°C a 22°C, enquanto que a pluviosidade média registrada é de 1500 mm anuais, concentrando 69,4% desta no período de outubro a março (SILVA, 1985). O tipo climático da região, segundo a classificação de Köppen, é o Cfa.

3.2. Solo

Para a presente pesquisa coletou-se solo da camada de 0-20 cm de um Latossolo Roxo Eutrófico (Typic

Eutrorthox), segundo SILVA (1985), e que exibe as carac
terísticas físicas apresentadas na Tabela 8. Até 1986 este
solo foi cultivado com feijão e milho, e posteriormente ocu
pado pela alfafa, que persiste até o momento.

Tabela 8 - Resultados de análises físicas do solo.

Solo	Profun- didade	Análise textural			Argila dispersa em água	Índice de flo- culação	Classe textu- ral	Densidade de partí- culas
		Areia	Silte	Argila				
	--cm--	----- % -----						--g/cm ³ --
Latossolo Roxo eu- trofíco	0-20	6,72	18,84	74,44	45,00	39,78	Muito Argi- losa	3,06

Fonte: SILVA (1985).

Após a coleta o solo foi peneirado (4 a 6 mm de malha) e homogeneizado, e retiradas amostras para se proceder as análises químicas, cujos resultados se encontram na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados da análise química do solo, na camada de 0-20 cm.

Car- bono %	pH		S.SO ₄	P	meq /100 ml TFSA							% Saturação	
	Água	CaCl ₂	μg/cm ³		K	Ca+Mg	Ca	Al	H+Al	S	CTC	Bases	Alumí- nio
1,3	5,85	5,00	10,0	17,0	0,10	10,4	7,0	0,0	6,0	10,5	16,5	63,63	0,0

As determinações do carbono (método Walkley-Black), pH e do H+Al (potenciometria) estão descritos por RAIJ et alii (1987), ressaltando que na determinação da acidez potencial (H+Al), a equação de regressão que associa $pH_{SMP} \times (H+Al)$, foi obtida pelo Instituto Agronômico do Paraná, trabalhando com solos do Estado do Paraná (Oliveira)¹. As determinações do Al trocável, Ca e Mg (extraídos com KCl), e do P e K (extraídos com solução de H_2SO_4 0,025 N + HCl 0,5 N) foram realizadas conforme MUZILLI et alii (1978), enquanto que, a determinação do enxofre na forma de sulfato (extraído com acetato de amônio 0,5 N em ácido acético 0,25 N) seguiu a marcha preconizada por VITTI (1989).

3.3. Procedimento experimental

3.3.1. Delineamento

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado, com três repetições. As parcelas foram constituídas por níveis de pH, níveis de potássio e níveis de enxofre, formando um esquema fatorial 2 x 4 x 4. Obteve-se, portanto, um total de 96 parcelas (vasos).

¹ OLIVEIRA, S.L. de. (IAPAR. Fundação Instituto Agronômico do Paraná, Londrina). Comunicação pessoal, 1990.

3.3.2. Tratamentos

3.3.2.1. Níveis de pH

O experimento envolveu o estabelecimento de dois níveis de pH (pH_1 e pH_2), sendo definido como pH_1 , o solo mantido nos vasos que não receberam corretivo (hidróxi-do de cálcio). Os tratamentos referidos como pH_2 , indicam o solo que foi misturado com o corretivo visando elevar o pH em água para valores próximos a 7,0.

3.3.2.2. Níveis de potássio

Estabeleceu-se quatro níveis de potássio no solo (K_1 , K_2 , K_3 e K_4). O nível K_1 , representando o teor de K original do solo, e os níveis K_2 , K_3 e K_4 , alcançados pela aplicação de 30, 100 e 300 ppm de K, respectivamente, na forma de cloreto de potássio (59% K_2O).

3.3.2.3. Níveis de enxofre

Os teores de enxofre foram elevados através da aplicação de gesso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) que apresentava 19,3% de Ca e 16,6% de S. Obteve-se assim, quatro níveis de enxofre no solo: a) nível S_1 , que representa o teor nativo do mesmo; b) nível S_2 , onde se aplicou 15 ppm de S; c) nível S_3 , obtido pela aplicação de 30 ppm de S, e

d) nível S_4 , quando se adicionou 60 ppm de S.

3.3.3. Condução do experimento

O solo foi coletado no campo (camada de 0-20 cm) e passado em peneira com 5 mm de malha. Após homogeneizado, parte do mesmo foi utilizado em testes separados de incubação com hidróxido de cálcio (P.A.) e cloreto de potássio, visando definir qual a quantidade destes a serem aplicados para elevar o pH (água) próximo a 7,0 e os níveis de potássio trocável a 0,15; 0,30 e 0,60 meq/100 ml. A incubação iniciou em 15/08/1989 e encerrou-se em 28/09/1989.

Após a definição das doses, em 08/11/1989 misturou-se o corretivo com uma quantidade de solo suficiente para o enchimento de 48 vasos (cada vaso recebeu 2,6 kg de terra). Este foi mantido úmido até 28/11/1989, quando então juntamente com a terra de mais 48 vasos se procedeu a mistura dos fertilizantes potássico e sulfatado, conforme definido no item 3.3.2. Para se atingir os níveis K_2 , K_3 e K_4 aplicaram-se, respectivamente, as doses de 148, 494 e 1482 mg/vaso de KCl.

Além dos nutrientes envolvidos nos tratamentos testados, aplicou-se também fósforo e boro, nas doses de 32 e 1 ppm, respectivamente, na forma de superfosfato triplo e bórax. A baixa dose de P utilizada é justificada pelo alto teor já existente em condição natural, e a teste de incubação prévio que mostrou ser esta dose suficiente para atingir teores disponíveis, suficiente para a cultura duran-

te o período experimental. À exceção do bórax, que foi dissolvido e aplicado na superfície do solo, todos os outros fertilizantes foram misturados integralmente com a terra que foi colocada no vaso. Por ocasião da semeadura retirou-se amostras de solo de todos os vasos para se efetuar a análise química.

A semeadura da alfafa, cultivar Crioula, foi realizada no dia 02/02/1990, após prévia inoculação das sementes com *Rhizobium meliloti*. No dia 06/03/1990 procedeu-se o desbaste deixando 4 plantas/vaso. Durante todo o período experimental o solo foi mantido com o teor de água de $0,29 \text{ g.g}^{-1}$ através de pesagens e irrigações diárias, valor este determinado pelo método TFSM (Torrão Separado pela Frente de Molhamento), conforme Marcos¹.

O controle de pragas (principalmente pulgões, tripses e ácaros rajados) foi efetuado de acordo com o surgimento das mesmas, tomando-se o cuidado de se utilizar produtos químicos isentos dos elementos (K e S) utilizados na pesquisa, como por exemplo Vertimec, Folidol e Azodrin.

Efetuuou-se quatro cortes para avaliar os tratamentos. O primeiro corte foi realizado 71 dias após a semeadura (12/04/90) quando as plantas se apresentavam em avançado estágio de florescimento. Nesta época estava ocorrendo também brotação basilar. O segundo, terceiro e quarto cortes foram efetuados em 11/05, 08/06 e 10/07/1990, res

¹MARCOS, Z.Z. (ESALQ/USP. Departamento de Solos, Geologia e Fertilizantes, Piracicaba). Anotações de aula, 1988.

pectivamente, com um intervalo médio de 29 dias entre os cortes. A área foliar basilar não era removida pelos cortes, pois isto, fisiologicamente, representa um trauma muito intenso para as plantas (SAIBRO, 1984).

Após o último corte separou-se o solo das raízes, através de lavagem e peneiramento. Amostras de solo de todos os vasos foram coletadas, secas em estufa (40°C) e passadas em peneira de 2 mm de diâmetro para análise química. Quando da coleta do solo e raízes procedeu-se também a separação da estrutura denominada coroa, descrita por GROVE & CARLSON (1972) e TEUBER & BRICK (1988), a qual inclui porções perenes do caule e parte superior da raiz, utilizada para determinação do diâmetro, conforme item 3.3.4.4.

3.3.4. Avaliação

3.3.4.1. Altura de plantas

Mediu-se a distância entre a superfície do solo e a parte mais alta de cada uma das quatro plantas existentes nos vasos, obtendo-se a partir daí um valor médio por vaso. Esta avaliação foi realizada semanalmente, a partir do primeiro corte.

3.3.4.2. Número de perfilhos

Durante o seu desenvolvimento, a alfafa emite perfilhos que podem ser classificados como basais e aéreos (MONTEIRO, 1989). Os primeiros são originários da coroa da planta, enquanto que os segundos nascem acima da superfície do solo e são originários dos perfilhos basais. Estes, indistintamente, eram contados após cada corte, registrando-se o número de perfilhos por vaso. Obteve-se assim o número de perfilhos relativos ao 2º, 3º e 4º cortes.

3.3.4.3. Análise da composição química das plantas

Por ocasião dos cortes os perfilhos foram divididos, para efeito de análise, em duas partes iguais, superior e inferior. As plantas assim coletadas eram rapidamente lavadas em água destilada, acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa com a temperatura ajustada para 65°C, até atingirem peso constante. As partes superiores e inferiores das plantas eram pesadas, moídas (passando em peneiras de 1 mm de malha) e analisadas quimicamente para a determinação dos seguintes elementos, conforme metodologia descrita por MALAVOLTA et alii (1989): nitrogênio (método Kjeldahl), fósforo (colorimetria do metavanadato), potássio (fotometria de chama de emissão), enxofre (turbidimetria do

sulfato de bário), cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco e manganês (espectrofotometria de absorção atômica). O extrato para a determinação do nitrogênio foi obtido por digestão sulfúrica, enquanto que, para os elementos restantes obteve-se o extrato por digestão nítrico-perclórica.

Determinou-se assim a concentração dos nutrientes nas partes superior e inferior da planta. A partir destes resultados, calculou-se a concentração dos elementos na planta inteira, através da equação:

$$\%M = \frac{(Ms.PSs) + (Mi.PSi)}{PSt}, \text{ onde}$$

- %M = Concentração do nutriente na planta inteira, em %;
- Ms = Concentração do elemento na parte superior da planta, em %;
- PSs = Peso seco da parte superior da planta, em g;
- Mi = Concentração do elemento na parte inferior da planta, em %;
- PSi = Peso seco da parte inferior da planta, em g;
- PSt = Peso seco da planta inteira, em g.

3.3.4.4. Diâmetro da raiz

A parte superior das raízes tiveram o diâmetro determinado com o auxílio de um paquímetro. A medição foi realizada no início da inserção dos brotos basilares

das 4 plantas de cada vaso, obtendo-se o valor médio por planta.

3.3.4.5. Peso de raízes

Após lavagem para eliminar a terra, as raízes foram secas (65°C) até atingirem peso constante.

3.3.4.6. Produção de massa seca

O material colhido e seco (65°C) foi pesado, obtendo-se a produção de massa seca. Na somatória dos quatro cortes tem-se a produção total.

3.3.4.7. Níveis críticos de potássio e enxofre na planta

Os dados de produção de massa seca foram ajustados como variável dependente das doses de potássio e enxofre aplicados no solo. Obtendo-se equações de regressão quadráticas, definiram-se as doses de potássio e enxofre responsáveis por 90% da produção máxima. Estas doses foram inseridas nas equações de regressão que relacionam o potássio e o enxofre na parte aérea (y) com a quantidade dos mesmos aplicados no solo (x), estimando-se assim as concentra

ções destes elementos na planta necessárias para a obtenção de 90% da produção máxima (MUNIZ et alii, 1985 e CARVALHO et alii, 1989).

3.3.5. Análise estatística

As avaliações da altura de plantas feitas 28 dias após o 1º, 2º e 3º cortes foram analisadas pelo teste F. Neste caso, as interações significativas foram desdobradas, aplicando-se o teste de Tukey (5%).

Os parâmetros, número de perfilhos, diâmetro da raiz, peso de raízes, produção do 1º, 2º, 3º e 4º cortes e a produção total, foram analisadas pelo teste F, sendo as interações significativas desdobradas pelo teste de Tukey (5%).

A concentração dos nutrientes contidos na parte superior e na planta toda, foi analisada pelo teste F e, ocorrendo diferenças significativas, aplicou-se o teste Tukey (5%). Neste caso também desenvolveram-se equações de regressão ajustadas entre:

- a) a concentração de potássio e enxofre na planta como variável dependente (y) dos teores destes mesmos elementos aplicados no solo (x);
- b) a produção de massa seca como variável dependente (y) da concentração de potássio

e enxofre em cada porção da planta analisada (x).

Interações entre os nutrientes também foram investigadas.

4. RESULTADOS

4.1. Alterações químicas no solo após a aplicação do corretivo e fertilizantes

A análise química do solo após a aplicação do corretivo e dos fertilizantes revelou os resultados expressos na Tabela 10. Os valores médios decorrentes da aplicação dos tratamentos estão resumidos na Tabela 11, onde se verifica que aqueles relativos aos pH₁ e pH₂ atingiram valores médios de 5,42 e 6,84 (água) ou 5,09 e 6,50 (CaCl₂), respectivamente. A acidez relativa a estes tratamentos pode ser considerada como alta (5,42) e muito baixa (6,84), segundo os critérios definidos em RAIJ (1991). Segundo este mesmo autor, os teores de K alcançados no solo nos níveis K₁, K₂, K₃ e K₄ são interpretados no Estado de São Paulo como baixo, médio, alto e muito alto, respectivamente. A elevação do pH não alterou o teor de K trocável nos diferentes tratamentos.

Porém, o mesmo não ocorreu com o S-SO₄²⁻, onde se observa uma nítida superioridade no enxofre extraído nos tratamentos desenvolvidos no pH₂, principalmente nas maiores

Tabela 10 - Resultados da análise química do solo após a aplicação do corretivo e fertilizantes. ESALQ, Piracicaba, 1990.

Tratamentos ¹	C %	pH		Enxofre ---- ppm	Fósforo ----	meq/100 ml TFSA						% de Saturação		
		Água	CaCl ₂			K	Ca + Mg	Ca	Al trocável	H+Al	Soma de Bases	CIC a pH 7,0	Bases	.Al
1 - pH ₁ K ₁ S ₁	1,0	5,36	4,90	14,99	25,25	0,10	10,15	7,00	0,0	6,20	10,25	16,45	62,31	0,0
2 - pH ₁ K ₂ S ₁	1,1	5,46	5,09	14,42	24,20	0,16	11,60	7,10	0,0	6,00	11,76	17,76	66,21	0,0
3 - pH ₁ K ₃ S ₁	1,0	5,36	5,09	14,99	26,30	0,30	10,70	7,10	0,0	5,80	11,00	16,80	65,47	0,0
4 - pH ₁ K ₄ S ₁	0,9	5,34	5,10	15,56	26,80	0,65	10,80	7,00	0,0	5,20	11,45	16,65	68,76	0,0
5 - pH ₁ K ₁ S ₂	1,1	5,36	5,00	24,68	24,20	0,10	10,50	7,20	0,0	6,20	10,60	16,20	65,43	0,0
6 - pH ₁ K ₂ S ₂	1,1	5,37	5,10	25,82	25,25	0,15	11,20	7,10	0,0	5,40	11,35	16,75	67,76	0,0
7 - pH ₁ K ₃ S ₂	1,2	5,46	5,08	24,68	25,25	0,30	11,80	7,00	0,0	5,75	12,10	17,85	67,78	0,0
8 - pH ₁ K ₄ S ₂	1,1	5,33	5,11	23,54	24,90	0,59	11,40	7,50	0,0	5,55	11,99	17,54	68,35	0,0
9 - pH ₁ K ₁ S ₃	1,0	5,45	5,07	34,94	25,25	0,10	10,80	7,30	0,0	6,00	10,90	16,90	64,49	0,0
10 - pH ₁ K ₂ S ₃	1,1	5,40	5,08	35,51	21,65	0,18	11,80	7,40	0,0	5,15	11,98	17,13	69,93	0,0
11 - pH ₁ K ₃ S ₃	1,2	5,53	5,15	33,23	23,05	0,31	11,70	7,35	0,0	5,55	12,01	17,56	68,39	0,0
12 - pH ₁ K ₄ S ₃	1,2	5,50	5,20	29,24	24,25	0,60	12,00	7,20	0,0	5,00	12,60	17,60	71,59	0,0
13 - pH ₁ K ₁ S ₄	1,1	5,37	4,95	50,90	22,80	0,10	10,65	7,20	0,0	6,00	10,75	16,75	64,17	0,0
14 - pH ₁ K ₂ S ₄	0,9	5,46	5,15	55,46	23,65	0,18	11,25	7,10	0,0	5,80	11,43	17,23	66,33	0,0
15 - pH ₁ K ₃ S ₄	1,0	5,48	5,15	49,76	25,60	0,33	11,40	7,10	0,0	5,55	11,73	17,28	67,88	0,0
16 - pH ₁ K ₄ S ₄	0,9	5,51	5,20	47,48	23,60	0,60	11,25	7,25	0,0	4,45	11,85	16,30	72,69	0,0

... continuação da Tabela 10.

Tratamentos ¹	C %	pH		Enxo- fre ----- ppm	Fós- foro -----	meq/100 ml TFSA					% de Saturação			
		Água	CaCl ₂			K	Ca + Mg	Ca	Al tro- cavel	H+Al	Soma de Bases	CTC a pH 7,0	Bases	Al
17 - pH ₂ K ₁ S ₁	1,0	7,01	6,50	19,55	27,90	0,10	12,50	10,00	0,0	2,70	12,60	15,30	82,35	0,0
18 - pH ₂ K ₂ S ₁	0,9	6,95	6,50	18,41	29,60	0,17	12,90	10,60	0,0	2,60	13,07	15,67	83,40	0,0
19 - pH ₂ K ₃ S ₁	0,9	6,86	6,50	14,99	28,75	0,31	12,85	10,50	0,0	2,80	13,16	15,96	82,45	0,0
20 - pH ₂ K ₄ S ₂	1,0	6,87	6,50	16,70	28,75	0,65	12,60	10,45	0,0	2,60	13,25	15,85	83,59	0,0
21 - pH ₂ K ₁ S ₂	0,8	6,73	6,40	29,81	28,30	0,10	12,85	10,40	0,0	2,90	12,95	15,85	81,70	0,0
22 - pH ₂ K ₂ S ₂	0,9	6,76	6,40	28,10	29,20	0,17	12,40	10,45	0,0	3,05	12,57	15,62	80,47	0,0
23 - pH ₂ K ₃ S ₂	1,0	6,76	6,45	28,67	29,20	0,32	12,65	10,40	0,0	2,90	12,97	15,87	81,72	0,0
24 - pH ₂ K ₄ S ₂	0,9	6,76	6,50	27,53	29,60	0,66	12,45	10,35	0,0	2,90	13,11	16,01	81,88	0,0
25 - pH ₂ K ₁ S ₃	0,8	6,84	6,50	45,77	27,90	0,12	12,75	10,65	0,0	2,90	12,87	15,77	81,61	0,0
26 - pH ₂ K ₂ S ₃	1,1	6,87	6,55	40,64	29,15	0,17	12,70	10,60	0,0	2,70	12,87	15,57	82,65	0,0
27 - pH ₂ K ₃ S ₃	1,0	6,87	6,55	44,06	28,30	0,30	12,65	10,55	0,0	2,60	12,95	15,55	83,27	0,0
28 - pH ₂ K ₄ S ₃	0,9	6,79	6,55	44,63	30,10	0,66	12,75	10,65	0,0	2,90	13,41	16,31	82,21	0,0
29 - pH ₂ K ₁ S ₄	1,1	6,85	6,55	78,26	30,10	0,10	12,90	10,85	0,0	2,50	13,00	15,50	83,87	0,0
30 - pH ₂ K ₂ S ₄	1,1	6,89	6,55	74,84	28,30	0,17	12,85	10,85	0,0	2,70	13,02	15,72	82,82	0,0
31 - pH ₂ K ₃ S ₄	1,0	6,86	6,60	74,84	30,10	0,33	12,90	10,90	0,0	2,60	12,23	15,83	83,57	0,0
32 - pH ₂ K ₄ S ₄	1,0	6,79	6,50	74,27	31,05	0,65	13,40	11,10	0,0	2,90	14,05	16,95	82,89	0,0

¹ K₁, K₂, K₃ e K₄ = 0, 30, 100 e 300 ppm de K aplicados, respectivamente.

S₁, S₂, S₃ e S₄ = 0, 15, 30 e 60 ppm de S aplicados, respectivamente.

Tabela 11 - Valores médios de pH, potássio e enxofre determinados no solo após a adição do corretivo e fertilizantes.

Tratamentos	Valores observados no solo			
	pH ₁ ¹	Potássio ²	Enxofre ²	
--Níveis--	--Água:CaCl ₂ --	--emg/100 ml solo--	--ppm--	
pH ₁	K ₁ S ₁		0,10	15
	K ₂ S ₂	5,42:5,09	0,17	25
	K ₃ S ₃		0,31	33
	K ₄ S ₄		0,61	51
pH ₂	K ₁ S ₁		0,10	17
	K ₂ S ₂	6,84:6,50	0,17	28
	K ₃ S ₃		0,31	44
	K ₄ S ₄		0,65	76

¹ Médias, para cada nível, de 48 vasos.

² Médias, para cada nível, de 12 vasos.

doses aplicadas. Mesmo no tratamento sem S aplicado (S₁) somente a elevação do pH foi suficiente para ocasionar um pequeno aumento no sulfato extraído. Estes resultados estão de acordo com os de ENSMINGER (1954) e ELKINS & ENSMINGER (1971) e demonstram claramente como o pH afeta a capacidade adsortiva do solo para o sulfato. Reações de troca entre o

SO_4^{--} e a superfície das argilas como as ilustradas por BISSANI & TEDESCO (1988) e por TISDALE et alii (1985), bem como o efeito do pH no desenvolvimento de cargas elétricas na superfície de argilas que apresentam caráter anfótero, justificam este comportamento. Assim SO_4^{2--} atraídos por mecanismos não específicos de adsorção estarão sujeitos a serem deslocados para a solução devido às forças de repulsão geradas pelo aumento do pH. Além disto, a decomposição da matéria orgânica e a mineralização do S orgânico são reações positivamente influenciadas pelo pH (BISSANI & TEDESCO, 1988), onde o incremento de uma unidade neste índice pode triplicar a produção de sulfato (JACKSON, 1967).

Numa primeira tentativa de se interpretar os teores de S- SO_4^{2-} no solo, VITTI (1989) classificou como adequado (extração com $\text{NH}_4\text{OAc} \cdot \text{HOAc}$) teores superiores a $15 \mu\text{g}/\text{cm}^3$. À exceção da testemunha ($\text{pH}_1\text{K}_1\text{S}_1$) que apresenta um valor limite entre médio e alto, todos os outros tratamentos apresentam teores bastante elevados.

4.2. Efeitos sobre a altura de plantas

Os efeitos manifestados nas plantas cultivadas no solo em dois níveis de pH estão demonstrados na Tabela 12. Devido à grande irregularidade no crescimento inicial das plantas, nesta primeira fase que antecedeu o 1º corte não foi realizada a medição da altura de plantas. Após o 1º corte

Tabela 12 - Médias dos parâmetros analisados obtidas nos dois níveis de pH testados.

Parâmetros	Níveis de pH		Valor F
	pH ₁	pH ₂	
Altura de plantas; 2º corte (cm)	24,41	32,27	160,05**
Altura de plantas; 3º corte (cm)	20,46	29,27	161,05**
Altura de plantas; 4º corte (cm)	12,81	18,81	138,93**
Número de perfilhos; 2º corte	14,10	23,33	251,28**
Número de perfilhos; 3º corte	12,54	23,79	180,44**
Número de perfilhos; 4º corte	7,5	15,34	170,62**
Número de perfilhos total	34,14	62,48	339,44**
Diâmetro de raiz (cm)	0,68	0,98	258,61**
Peso de raiz (g)	9,17	18,48	181,03**
Produção de massa seca; 1º corte (g)	2,99	7,18	1.858,84**
Produção de massa seca; 2º corte (g)	1,80	5,62	2.094,32**
Produção de massa seca; 3º corte (g)	1,27	4,21	1.039,41**
Produção de massa seca; 4º corte (g)	0,91	2,43	341,06**
Produção de massa seca total (g)	6,98	19,45	3.502,03**
% N na parte aérea; 1º corte	1,44	2,38	457,29**
% N na parte aérea; 2º corte	2,70	3,53	356,49**
% N na parte aérea; 3º corte	3,35	4,20	371,40**
% N na parte aérea; 4º corte	3,25	4,13	182,96**
N na parte aérea; 1º corte (mg/vaso)	42,98	170,99	1.206,53**
N na parte aérea; 2º corte (mg/vaso)	49,17	198,50	2.483,34**
N na parte aérea; 3º corte (mg/vaso)	43,63	176,98	1.228,11**
N na parte aérea; 4º corte (mg/vaso)	29,62	101,27	406,19**
% S na parte aérea; 1º corte	0,38	0,26	184,33**
% S na parte aérea; 2º corte	0,35	0,25	153,75**
% S na parte aérea; 3º corte	0,37	0,36	2,78
% S na parte aérea; 4º corte	0,42	0,38	17,15**
S na parte aérea; 1º corte (mg/vaso)	11,15	18,96	296,45**
S na parte aérea; 2º corte (mg/vaso)	6,06	14,21	581,24**
S na parte aérea; 3º corte (mg/vaso)	4,49	15,75	866,52**
S na parte aérea; 4º corte (mg/vaso)	3,79	9,37	383,51**

continua...

... continuação Tabela 12.

Parâmetros	Níveis de pH		Valor F
	pH ₁	pH ₂	
% K na parte aérea; 1º corte	1,66	1,48	28,81**
% K na parte aérea; 2º corte	2,54	1,73	209,30**
% K na parte aérea; 3º corte	2,15	1,51	231,89**
% K na parte aérea; 4º corte	2,06	1,51	62,67**
K na parte aérea; 1º corte (mg/vaso)	50,75	106,79	709,24**
K na parte aérea; 2º corte (mg/vaso)	44,68	103,21	584,01**
K na parte aérea; 3º corte (mg/vaso)	26,63	72,32	389,47**
K na parte aérea; 4º corte (mg/vaso)	18,62	40,51	174,63**
% Ca na parte aérea; 1º corte	2,32	2,22	7,45**
% Ca na parte aérea; 2º corte	1,92	2,06	18,90**
% Ca na parte aérea; 3º corte	2,10	2,47	23,78**
% Ca na parte aérea; 4º corte	3,51	3,54	0,17
% Mg na parte aérea; 1º corte	0,43	0,34	135,82**
% Mg na parte aérea; 2º corte	0,43	0,38	28,90**
% Mg na parte aérea; 3º corte	0,47	0,57	45,70**
% Mg na parte aérea; 4º corte	0,77	0,77	0,03
Mn na parte aérea; 1º corte (ppm)	256	93	332,34**
Mn na parte aérea; 2º corte (ppm)	223	91	333,32**
Mn na parte aérea; 3º corte (ppm)	237	127	230,00**
Mn na parte aérea; 4º corte (ppm)	497	205	207,91**

verificou-se uma uniformidade no desenvolvimento das plantas dentro de cada tratamento específico. Os resultados obtidos evidenciaram que o crescimento das plantas foi significativamente menor no pH₁. A elevação do pH resultou num aumento de 32,2%, 43,0% e 46,8% na altura de plantas registradas por ocasião do 2º, 3º e 4º cortes, respectivamente. Conforme a seqüência de cortes, constatou-se uma queda no crescimento das plantas dentro de cada nível de pH. As alturas médias por ocasião do 2º corte no pH₁ e pH₂ foram, respectivamente, de 24,41 e 32,27 cm, contra 12,81 e 18,81 cm no 4º corte. A maior redução aconteceu entre o 3º e 4º cortes.

A resposta no crescimento das plantas em função das doses de potássio e enxofre aplicados, dentro de cada nível de pH, encontra-se nas Tabelas 13, 14 e 15. Os resultados relativos ao 2º corte indicaram ausência de efeitos significativos da adição de K e S no solo com pH₁ (Tabela 13). No nível de pH₂ houve resposta significativa à aplicação de K para a dose 100 ppm. Não foi registrada diferença ocasionada pela adição de S nem da interação K x S. Dose acima de 100 ppm de K não mostrou vantagem.

Os resultados relativos ao terceiro corte estão demonstrados na Tabela 14. Enquanto que no tratamento com pH₁ não se verificou diferenças significativas para nenhum nutriente aplicado, no pH₂ a planta reagiu positivamente à adição do K e S. À semelhança do observado no 2º corte, a resposta ocorreu na dose de 100 ppm de K, onde se verifi-

Tabela 13 - Médias de altura de plantas por ocasião do segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁			pH ₂						
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	0	30	100	300			
	Média (S)			Média (S)			Média (S)			
0	27,33	26,00	26,00	25,00	26,08	31,66	30,66	33,00	34,33	32,41
15	20,00	21,66	28,00	23,00	23,16	30,00	29,33	33,33	31,66	31,08
30	24,66	21,33	27,00	21,66	23,66	29,66	31,33	37,00	36,00	33,50
60	25,00	24,66	24,66	24,66	24,66	31,00	31,66	33,00	32,66	32,08
Média (K)	24,25	23,41	26,41	23,58	24,41	30,58 A	30,75 A	34,08 B	33,66 AB	32,27

¹ Médias nas linhas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 3,17.

Tabela 14 - Médias de altura de plantas por ocasião do terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁				pH ₂				Média (S)	
	Potássio (ppm)				Potássio (ppm)					
	0	30	100	300	0	30	100	300		
-- ppm --	----- (cm) -----									
0	20,66	22,66	21,33	23,33	21,83	24,00	24,66	28,00	28,66	26,33 a
15	22,00	21,66	22,33	18,33	21,08	28,00	28,33	34,66	33,66	31,16 b
30	19,66	19,33	22,66	15,00	19,16	25,33	29,33	33,66	33,66	30,50 b
60	22,66	19,00	18,33	19,00	19,75	28,00	27,66	31,00	29,66	29,08 b
Média (K)	21,08	20,66	21,16	18,91	20,46	26,33 A	27,50 A	31,83 B	31,41 B	29,27

¹Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

²DMS (5%) para médias de K e S é 3,15.

Tabela 15 - Médias de altura de plantas por ocasião do quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			Média (S)	pH ₂ ³			Média (S)											
	Potássio (ppm)				Potássio (ppm)														
	0	30	100		300	0	30		100	300									
--ppm--	----- (cm) -----																		
0	12,66	12,33	11,00	14,33	12,58	ab	14,66	aA	13,00	bA	13,00	cA	12,83						
15	15,33	16,33	15,00	11,00	14,41	a	17,33	aA	19,33	a	A	17,33	bcA	19,33					
30	11,66	12,33	11,00	11,66	11,66	b	18,00	a	B	18,66	ab	B	22,00	a	AB	27,00	a	A	21,41
60	13,33	13,66	12,00	11,33	12,58	ab	20,66	aA	21,33	a	A	21,66	a	A	23,00	ab	A	21,66	
Média (K)	13,25	13,66	12,25	12,08	12,81		17,66		18,08		19,41		20,08		18,81				

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 2,32.

³ DMS (5%) para a interação K x S é 6,27.

cou um aumento na altura de plantas de 20,8% em relação à testemunha. Já para o enxofre, o primeiro incremento na dose (15 ppm S) foi suficiente para favorecer o crescimento de plantas de forma significativa. Doses superiores a 15 ppm de S e 100 ppm de K não resultaram em maior incremento. Não se observou significância na interação K x S.

No 4º corte não ocorreu resposta significativa à aplicação dos nutrientes no solo com pH₁ (Tabela 15). Os resultados mostram uma tendência de aumento nas médias para a dose de 15 ppm de S e, inversamente, uma queda na dose de 30 ppm de S, o que determinou uma diferença significativa entre ambas. No nível de pH₂ existiu interação positiva entre os nutrientes. Neste caso, resposta ao enxofre só ocorreu a partir da dose de 30 ppm de K, onde a dose de 15 ppm de S aumentou significativamente a altura de plantas. Porém a combinação que resultou em maior crescimento foi a de 30 e 300 ppm de S e K, respectivamente.

4.3. Efeitos sobre o número de perfilhos

O pH alterou significativamente a quantidade de perfilhos produzidos em todos os cortes (Tabela 12). A elevação do pH em água para valores próximos a 6,8 praticamente dobrou o número de perfilhos dentro de cada corte ocasionando uma grande diferença no total registrado, que foi de 34,14 e 62,48 perfilhos no pH₁ e pH₂, respectivamente,

significando um aumento de 83%. Verifica-se uma queda no número de perfilhos do 2º para o 4º corte nos dois níveis de pH. De forma análoga ao ocorrido com a altura de plantas, esta queda foi bem mais acentuada do 3º para o 4º corte.

O número de perfilhos no 2º corte no solo com pH₁ foi influenciado negativamente pela adição de potássio (Tabela 16). A aplicação de 30 e 300 ppm de K reduziram significativamente o perfilhamento, enquanto que a dose intermediária (100 ppm), embora inferior à testemunha, não apresentou diferença estatística. A adição de enxofre e a interação K x S alteraram significativamente o número de perfilhos produzidos. Neste corte não foi detectada nenhuma diferença estatística ocasionadas pelas aplicações de K e S no solo com pH₂.

Em relação ao 3º corte inexistiu diferenças significativas no solo com pH₁, o mesmo não ocorrendo porém no nível de pH₂, conforme se verifica na Tabela 17. Neste caso as doses de 15, 30 e 60 ppm foram estatisticamente superiores à testemunha, mas iguais entre si. A aplicação de 15 ppm de S aumentou o perfilhamento em aproximadamente 38%. Não houve efeito do potássio nem da interação K x S.

O número de perfilhos por ocasião do 4º corte foi influenciado nos dois níveis de pH de forma inversa (Tabela 18). No pH₁ a adição de S na dose de 30 ppm resultou em significativa redução das médias, enquanto que no pH₂ a

Tabela 16 - Médias do número de perfilhos registrados por ocasião do segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ¹			pH ²						
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	0	30	100	300			
			Média (S)				Média (S)			
				----- (Nº/vaso) -----						
0	14,66	13,33	17,33	16,66	15,50	18,66	19,00	24,00	24,00	21,41
15	14,33	11,66	12,66	12,66	12,83	24,00	23,66	26,00	25,33	24,75
30	17,66	13,66	14,00	11,66	14,25	24,00	22,33	24,66	25,00	24,00
60	18,66	13,66	12,00	11,00	13,83	22,33	25,33	22,26	22,33	23,16
Média (K)	16,33	A 13,08	B 14,00	AB 13,00	B 14,10	22,25	22,58	24,33	24,16	23,33

¹ Médias nas linhas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 2,93.

Tabela 17 - Médias do número de perfílos registrados por ocasião do terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre ppm	pH ₁			pH ₂						
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	0	30	100	300			
0	12,33	13,66	15,33	13,33	13,66	19,33	20,00	15,66	19,66	18,66 a
15	14,66	11,33	14,00	9,66	12,41	27,00	25,33	24,00	27,00	25,83 b
30	18,33	8,66	13,33	9,00	12,33	25,33	22,33	27,66	27,33	25,66 b
60	13,66	10,66	10,00	12,66	11,75	25,00	24,33	26,00	24,66	25,00 b
Média (K)	14,75	11,08	13,16	11,16	12,54	24,16	23,00	23,33	24,66	23,79

¹ Médias nas colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS. (5%) para médias de K e S é 4,42.

Tabela 18 - Médias do número de perfilhos registrados por ocasião do quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ²			pH ³						
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	0	30	100	300			
			Média (S)				Média (S)			
0	7,66	9,00	9,66	8,66	8,75 a	11,33	7,33	6,00	8,00	8,16 a
15	9,33	10,33	9,66	6,33	8,91 a	15,00	19,66	17,33	17,66	17,41 b
30	6,66	6,00	6,00	3,66	5,58 b	17,66	17,33	19,33	18,33	18,16 b
60	8,33	6,66	6,33	5,66	6,75 ab	13,00	20,66	20,00	17,00	17,66 b
Média (K)	8,00	8,00	7,91	6,08	7,50	14,25	16,25	15,66	15,25	15,34

--- ppm --- ----- (Nº/vaso) -----

¹ Médias nas colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 2,55.

³ DMS (5%) para médias de K e S é 3,84.

dose de 15 ppm de S aumentou de 8,16 (sem S) para 17,41 perfilhos/vaso. As doses de 30 e 60 ppm foram superiores à testemunha porém estatisticamente iguais à dose de 15 ppm. Em relação aos efeitos da adição de K e da interação $K \times S$, o comportamento foi o mesmo nos dois tratamentos de pH, ou seja, não ocorreram respostas significativas aos mesmos.

Os resultados relativos à quantidade total de perfilhos registrados no 2º, 3º e 4º cortes encontram-se na Tabela 19. Considerando o nível de pH_1 , verifica-se que a aplicação de enxofre e de potássio conduziram a uma redução no perfilhamento, porém, somente o último de forma significativa. Neste caso a quantidade total de perfilhos caiu de 39,08 para 30,25 em função da aplicação de 300 ppm de K. As doses intermediárias reduziram as médias porém não de forma significativa estatisticamente. A interação $K \times S$ não apresentou efeitos significativos. No nível de pH_2 constata-se um expressivo efeito do enxofre no aumento do perfilhamento. As doses de 15, 30 e 60 ppm, que não diferiram entre si, propiciaram um incremento próximo de 36% no número de perfilhos produzidos nos três cortes. Não se verificou efeito do K, independente ou interagindo com o enxofre.

4.4. Efeitos sobre o diâmetro da raiz

O diâmetro da raiz, determinado na sua extremidade superior, foi significativamente afetado pelo pH, con

Tabela 19 - Médias do número total de perfilhos produzidos, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			pH ₂ ³			Média (S)			
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	300	0	30		100	300	
-- ppm --	----- (Nº/vaso) -----									
0	34,66	36,00	42,33	38,66	37,91	49,33	46,33	45,66	51,66	48,25 a
15	38,33	33,33	36,33	28,66	34,16	66,00	68,66	67,33	70,00	68,00 b
30	42,66	28,33	33,33	24,33	32,33	67,00	62,00	71,66	70,66	67,83 b
60	40,66	31,00	28,33	29,33	32,16	60,33	70,33	68,66	64,00	65,83 b
Média (K)	39,08 A	32,16 AB	35,08 AB	30,25 B	34,14	60,66	61,83	63,33	64,08	62,48

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 7,65.

³ DMS (5%) para médias de K e S é 8,98.

forme se observa na Tabela 12. No pH_2 as raízes foram cerca de 44% mais grossas que as desenvolvidas no pH_1 . Embora não quantificado, foi constatado visualmente que as raízes de maior diâmetro geralmente apresentavam coroas mais desenvolvidas.

Os efeitos do potássio e enxofre encontram-se na Tabela 20. No pH_1 ocorreu uma pequena resposta, porém significativa, à aplicação de K na dose de 300 ppm, aumentando em 14% a espessura da raiz. O enxofre e a interação $K \times S$ não alteraram as médias. No pH_2 os efeitos independentes do potássio e do enxofre, manifestaram-se de forma altamente convincente nas doses de 100 e 300 ppm (potássio) e em todas as doses de enxofre testadas, as quais, porém, não diferiram entre si. Não foi registrado efeito na interação.

4.5. Efeitos sobre o peso de massa seca das raízes

A redução da acidez até o nível de pH_2 dobrou o desenvolvimento da raiz, aqui expresso através do seu peso seco, passando de 9,17 para 18,84 g/vaso (Tabela 12). Segundo observações quando da lavagem das raízes, constatou-se que nos tratamentos submetidos ao nível de pH_2 as raízes primárias eram bem mais desenvolvidas e as raízes fibrosas mais abundantes, refletindo os benefícios oriundos da correção da acidez do solo.

Os resultados expressos na Tabela 21 mostram

Tabela 20 - Médias do diâmetro da raiz, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			pH ₂ ³							
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)							
	0	30	100	0	30	100	300				
			Média (S)				Média (S)				
0	0,63	0,71	0,69	0,73	0,69	0,69	0,81	0,84	0,97	0,83 a	
15	0,59	0,65	0,65	0,72	0,65	0,65	0,82	0,90	1,02	1,28	1,00 b
30	0,68	0,59	0,67	0,68	0,66	0,66	0,85	1,04	1,07	1,14	1,02 b
60	0,67	0,73	0,67	0,78	0,71	0,71	0,90	0,97	1,10	1,17	1,03 b
Média (K)	0,64 A	0,67 AB	0,67 AB	0,73 B	0,68	0,68	0,82 A	0,93 AB	1,02 BC	1,12 C	0,98

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 0,08.

³ DMS (5%) para médias de K e S é 0,11.

Tabela 21 - Médias do peso de massa seca da raiz, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁			pH ₂			Média (S)			
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	300	0	30		100	300	
0	6,05	9,41	11,03	9,05	8,88	17,23	22,60	21,34	22,73	20,97
15	8,52	8,21	8,37	8,29	8,35	10,89	16,22	17,55	25,46	17,53
30	10,38	9,62	9,04	7,89	9,23	13,63	13,57	20,47	22,65	17,58
60	11,90	10,93	10,49	7,47	10,20	13,24	12,18	20,02	25,92	17,84
Média (K)	9,21	9,54	9,73	8,17	9,17	13,75 A	16,14 AB	19,84 BC	24,19 C	18,48

¹ Médias nas linhas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 4,84.

os efeitos do potássio e do enxofre sobre o sistema radicular. Conforme se observa não existiu diferenças significativas devido à presença destes nutrientes no solo com pH_1 . Por outro lado, no solo com pH_2 ocorreu resposta ao potássio, com as doses de 100 e 300 ppm sendo significativamente superiores à testemunha. A maior dose também foi superior à aplicação de 30 ppm de K. Não foi detectada resposta significativa ao enxofre.

4.6. Efeitos sobre a produção de massa seca

A produção de massa seca do 1º corte obtida no solo com alta acidez correspondeu a 41% daquela registrada no solo com baixa acidez (Tabela 12), determinando uma alta significância estatística entre os tratamentos. Nos cortes posteriores o comportamento distinto em função do pH foi mantido, com a produção de massa seca no pH_1 sendo 32, 30 e 37% daquelas obtidas no pH_2 no 2º, 3º e 4º cortes, respectivamente. Assim como aconteceu com a altura de plantas e com o número de perfilhos, a maior queda na produção no solo com pH_2 aconteceu do 3º para o 4º corte.

Na Tabela 22 encontram-se os resultados pertinentes ao 1º corte. No nível de pH_1 nenhuma dose de potássio alterou o comportamento da cultura em relação ao tratamento testemunha. Na ausência de enxofre a dose de 100 ppm de K mostrou ser significativamente superior à dose de 30

Tabela 22 - Médias da produção de massa seca, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH^1 .

Enxofre	pH_1^2			pH_2						
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	0	30	100	300			
---	ppm	---	---	---	(g/vaso)	---	---			
0	3,39 aAB	3,02 a B	4,09 a A	3,46 aAB	3,49	7,18	7,09	7,62	7,21	7,27
15	2,77 aA	3,25 a A	2,84 bA	3,46 aA	3,08	6,59	6,92	7,78	6,54	6,95
30	2,52 aA	2,04 bA	2,87 bA	2,92 aA	2,59	6,87	7,03	7,49	7,62	7,25
60	2,74 aA	3,01 a A	2,35 bA	3,12 aA	2,80	7,67	7,27	7,01	6,99	7,23
Média (K)	2,85	2,83	3,04	3,24	2,99	7,08	7,08	7,47	7,09	7,18

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para a interação K x S é 0,95.

ppm, porém, igual à testemunha e à dose de 300 ppm. Por outro lado, a dose de 30 ppm de K foi estatisticamente semelhante à testemunha e à dose de 300 ppm K. Estas respostas não evidenciaram neste corte um comportamento muito claro da cultura em função do K aplicado. Já o enxofre causou uma diminuição na produção de massa seca. Esta redução em função do S só começou a se manifestar, porém, a partir da dose de 30 ppm de K, se configurando de forma mais nítida na dose de 100 ppm de K. Já no solo com acidez baixa não se encontrou resposta ao potássio e ao enxofre, neste corte.

No segundo corte confirmou-se o efeito negativo sobre a produção resultante da aplicação de S no solo muito ácido (Tabela 23). As doses de 15, 30 e 60 ppm não diferiram entre si mas, reduziram significativamente a produção em cerca de 30% em relação à testemunha. Neste pH o potássio mostrou o mesmo comportamento, porém, somente a dose de 300 ppm diminuiu a produção significativamente. Não se observou efeito interativo entre os elementos. Inversamente, no solo com baixa acidez (pH_2) a adição dos nutrientes resultou em significativa elevação da produção. A dose de 15 ppm de enxofre diferiu estatisticamente da testemunha e foi semelhante à dose de 30 ppm, enquanto que a adição de 60 ppm promoveu resposta superior à dose de 15 ppm de S. Em relação ao potássio a aplicação de 100 e 300 ppm forneceram produções significativamente superiores à testemunha e à dose de 30 ppm. O incremento na produção em função dos efei-

Tabela 23 - Médias da produção de massa seca, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			pH ₂ ³						
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	300	Média (S)	Média (S)				
-- ppm --	----- (g/vaso) -----									
0	2,52	1,99	2,69	1,92	2,28 a	4,17	4,30	5,10	5,68	4,81 c
15	1,69	2,04	1,93	1,53	1,79 b	4,62	5,25	6,02	6,29	5,54 b
30	2,02	1,19	1,56	1,12	1,47 b	5,24	5,16	6,24	6,92	5,89 ab
60	1,94	1,56	1,64	1,49	1,65 b	5,66	5,87	6,54	6,91	6,24 a
Média (K)	2,04 A	1,69 AB	1,95 AB	1,51 B	1,80	4,92 B	5,14 B	6,04 A	6,38 A	5,62

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 0,44.

³ DMS (5%) para médias de K e S é 0,45.

tos independentes de potássio e enxofre foram praticamente iguais, onde nas doses de 300 e 60 ppm, respectivamente, aumentaram a produção em torno de 30%.

As médias de produção do terceiro corte devido à aplicação de K e S estão registradas na Tabela 24. Os dois elementos continuaram afetando a produção de massa seca quando adicionados ao solo ácido, porém, só o enxofre o fez de forma significativa na dose de 30 ppm. No nível de pH_2 ocorreu resposta ao potássio e enxofre aplicados, existindo uma interação positiva significativa entre ambos. Na ausência de enxofre a resposta ao K só aconteceu na dose de 300 ppm de K, enquanto que na presença de 15 ppm de S a resposta foi obtida com a aplicação de 100 ppm de K. Independente da dose de K utilizada, verifica-se uma certa estabilização nas respostas ao S em doses superiores a 15 ppm de S. Embora com 30 ppm de S tenha ocorrido resposta significativa até a dose de 300 ppm de K, os resultados sugerem que as doses mais interessantes parecem se situar entre 15 e 30 ppm de S e 100 e 300 ppm de K.

No quarto corte a produção de massa seca no tratamento com pH_1 não foi afetada pela adição de enxofre (Tabela 25). Por outro lado, a dose de 300 ppm de K, embora não diferente da testemunha, prejudicou qualquer início de resposta que seria possível estar ocorrendo pela aplicação de 30 ppm de K. Em relação à testemunha não existiu resposta a nenhum nutriente. Nos tratamentos desenvolvidos no so-

Tabela 24 - Médias da produção de massa seca, relativas ao terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ²			pH ³			Média (S)								
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)											
	0	30	100	300	0	30		100	300						
0	1,33	1,65	1,89	1,33	1,62	a	2,27	bb	2,69	bab	2,44	c B	3,35	bA	2,68
15	1,57	1,38	1,53	0,90	1,34	ab	3,28	a B	3,96	a B	5,80	a A	5,64	a A	4,67
30	1,55	0,80	1,08	0,63	1,01	b	3,48	a C	4,03	a BC	4,80	b B	6,30	a A	4,65
60	1,40	0,99	1,02	0,98	1,10	ab	3,54	a B	3,80	a B	5,65	a A	6,29	a A	4,82
Média (K)	1,46	1,20	1,38	1,03	1,27		3,14		3,62		4,67		5,39		4,21

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 0,56.

³ DMS (5%) para a interação K x S é 0,83.

Tabela 25 - Médias da produção de massa seca, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			pH ₂ ³			
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)			
	0	30	100	0	30	100	300
	Média (S)			Média (S)			
0	0,65	0,92	0,99	0,88	0,86	0,78	0,86
15	0,90	1,23	0,93	0,62	0,92	1,51	0,92
30	0,79	0,93	1,03	0,67	0,85	1,97	0,85
60	1,05	1,04	1,00	0,84	0,98	1,55	0,98
Média (K)	0,85	AB 1,03	A 0,99	AB 0,75	B 0,91	1,45	0,91
				2,17	2,90	3,17	2,43

--- ppm --- (g/vaso) ---

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 0,25.

³ DMS (5%) para a interação K x S é 1,15.

lo com pH₂ as respostas ao potássio e enxofre foram expressivas, com as interações reforçando o efeito independente destes fatores. A resposta ao potássio ocorreu em praticamente todos os níveis de S empregados, à exceção do nível S₁ (ausência de S). Em relação ao potássio, verifica-se uma estabilização na resposta a partir da dose de 100 ppm. Porém, na dose de 300 ppm de K se constatou um significativo reforço no efeito do S aplicado na dose de 30 ppm. Esta combinação produziu a maior média registrada neste corte.

Os resultados relativos à produção total obtida nos quatro cortes encontram-se na Tabela 26. No nível de pH₁ as menores médias de rendimento de massa seca foram obtidas com a aplicação das maiores doses de K e S. A redução registrada, porém, só foi estatisticamente justificada pela adição de enxofre, nas doses de 30 e 60 ppm. Entretanto, no nível de pH₂ as respostas caminharam em sentido contrário, ou seja, tanto a adição de potássio como a de enxofre causaram aumentos na produção, mostrando inclusive um significativo efeito de interação entre eles. Na ausência de potássio, a resposta ao enxofre somente foi obtida na dose de 30 ppm. A adição de K nas doses de 30 e 100 ppm por sua vez, reforçou o efeito do S, permitindo elevação significativa da produção na dose de 15 ppm deste nutriente. Finalmente, na dose de 300 ppm de K foi necessário a adição de 30 ppm de S para se alcançar o maior rendimento na somatória de todos os cortes.

Tabela 26 - Médias da produção total de massa seca, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			pH ₂ ³			Média (S)							
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)										
	0	30	100	300	0	30		100	300					
- ppm -	----- (g/vaso) -----													
0	7,90	7,59	9,66	7,90	8,26 a	14,40	cb	15,41	bAB	16,24	bAB	17,51	cA	15,89
15	6,94	7,90	7,24	6,52	7,15 ab	16,01	bc C	18,48 a	B	23,01 a	A	20,91	b A	19,68
30	6,89	4,97	6,55	5,34	5,94 b	17,57	ab C	18,68 a	C	22,10 a	B	25,49 a	A	20,96
60	7,15	6,61	6,01	6,44	6,55 b	18,43 a	B	19,52 a	B	23,06 a	A	24,28 a	A	21,23
Média(K)	7,22	6,77	7,36	6,55	6,98	16,60		18,02		21,10		22,05		19,45

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 1,21.

³ DMS (5%) para a interação K x S é 2,13.

4.7. Efeitos sobre a concentração e o conteúdo de nitrogênio na parte aérea

Entende-se por "concentração" ou "teor" o peso do elemento por unidade de peso da massa vegetal, enquanto que, "conteúdo" refere-se ao peso do elemento contido em todas as plantas do vaso. As médias destes dois conceitos em função do pH estão demonstradas na Tabela 12, onde se verifica que em todos os cortes praticados a elevação do pH produziu resultados positivos altamente significativos. No nível de pH_2 a concentração de N aumentou em 65%, 31%, 25% e 27% no 1º, 2º, 3º e 4º cortes, respectivamente, enquanto que, guardando a mesma sequência, o conteúdo de N aumentou em 298%, 304%, 305% e 242%, em relação ao nível pH_1 . Na somatória dos cortes as plantas acumularam na parte aérea 165,4 mg N/ vaso no pH_1 contra 647,7 mg N/vaso no pH_2 . Por outro lado, verifica-se uma sensível elevação nos teores de N nos dois níveis de pH, após o 1º corte. No pH_1 , entre o 1º e 2º cortes, a concentração passou de 1,44% para 2,70% de N, representando um incremento de 87%, sendo esta a maior diferença observada.

No primeiro corte não existiu efeito da adição de enxofre sobre o teor de nitrogênio em nenhum nível de pH empregado (Tabela 27). Para o potássio, no nível pH_2 , a resposta foi significativa quando se empregou a dose de 300 ppm de K, com a concentração passando de 2,28% (testemunha)

Tabela 27 - Médias da concentração de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁				pH ₂					
	Potássio (ppm)				Potássio (ppm)					
	0	30	100	300	0	30	100	300		
			Média (S)				Média (S)			
0	1,62	1,53	1,51	1,43	1,52	2,40	2,11	2,45	2,52	2,37
15	1,51	1,50	1,36	1,23	1,40	2,24	2,19	2,26	2,61	2,33
30	1,44	1,30	1,27	1,40	1,35	2,17	2,45	2,34	2,43	2,35
60	1,58	1,34	1,51	1,44	1,47	2,34	2,39	2,39	2,70	2,45
Média (K)	1,54	1,42	1,41	1,37	1,44	2,28 AB	2,28 B	2,36 AB	2,56 A	2,38

¹ Médias nas linhas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 0,28.

para 2,56% de N. Quando a análise é realizada sobre o conteúdo de N, observa-se que no pH₁, a redução na quantidade deste nutriente na parte aérea é causada pelo S (Tabela 28). Na ausência de K ou na dose de 30 ppm de K, houve redução significativa quando se aplicou 30 ppm de S. Já na dose de 100 ppm de K, todas as doses de S utilizadas reduziram significativamente a acumulação de N nos tecidos da alfafa.

No segundo corte a concentração de N em função dos nutrientes aplicados no nível pH₁ mostrou um comportamento semelhante ao 1º corte, com o aumento das doses reduzindo as médias observadas (Tabela 29). Entretanto, neste caso, somente o K diminuiu significativamente o teor de N, quando aplicado na dose de 300 ppm. No pH₂, resposta ao potássio somente ocorreu nas doses de 30 e 60 ppm de S. Neste caso detectou-se uma interação negativa a partir da dose 100 ppm. Contrariamente, em todos os níveis de K utilizados, a adição de S aumentou a concentração de N. Nas doses zero e 30 ppm de K, resposta significativa foi alcançada com 30 ppm de S, enquanto que, nos níveis de 100 e 300 ppm de K, o mesmo ocorreu na presença de 15 ppm de S.

Os efeitos negativos sobre o teor de N, resultantes da aplicação de doses elevadas de K e S no pH₁, são confirmados pelos resultados ilustrados na Tabela 30, onde se verifica que tanto o potássio na dose de 300 ppm como o enxofre em todas as doses, causaram significativa queda na quantidade de N acumulada nas plantas. No nível pH₂ os efei

Tabela 28 - Médias do conteúdo de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			pH ₂						
	Potássio (ppm)	Média (S)		Potássio (ppm)	Média (S)					
	0	30	100	300	0	30	100	300		
- ppm -	----- (mg/vaso) -----									
0	54,90 a	45,94 a	61,66 a	49,44 a	52,98	172,00	149,72	186,32	182,08	172,53
15	42,04 ab	48,34 a	38,73 b	42,20 a	42,83	148,30	152,21	175,95	171,62	162,02
30	36,16 b	26,44 b	36,57 b	41,02 a	35,05	149,51	172,96	175,72	186,90	171,27
60	43,55 ab	40,40 a	35,54 b	44,73 a	41,06	181,32	173,60	168,45	189,21	178,14
Média (K)	44,17	40,28	43,13	44,35	42,98	162,78	162,12	176,61	182,45	170,99

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para a interação K x S é 13,29.

Tabela 29 - Médias da concentração de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²				pH ₂ ³						
	Potássio (ppm)				Potássio (ppm)						
	0	30	100	300	0	30	100	300			
			Média				Média				
			(S)				(S)				
	0	2,99	2,62	2,67	2,75	2,76	3,48	3,39	3,16	3,15	3,29
	15	2,88	3,00	2,61	2,44	2,73	3,41	3,39	3,63	3,52	3,49
	30	3,00	2,56	2,48	2,53	2,64	3,92	3,95	3,50	3,56	3,73
	60	2,79	2,75	2,53	2,56	2,66	3,74	3,62	3,62	3,33	3,58
Média (K)		2,91	2,73	AB 2,57	B 2,57	B 2,70	3,64	3,59	3,48	3,39	3,53

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DNS (5%) para médias de K e S é 0,27.

³ DNS (5%) para a interação K x S é 0,37.

Tabela 30 - Médias do conteúdo de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			pH ₂ ³			Média (S)			
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	300	0	30		100	300	
- ppm -	----- (mg/vaso) -----									
0	75,46	53,28	71,82	53,59	63,54 a	145,61	146,12	161,53	178,96	158,05 c
15	49,02	60,49	50,26	37,33	49,27 b	158,35	178,30	227,85	212,45	194,24 b
30	60,85	30,63	38,82	28,02	39,58 b	205,39	204,33	218,95	246,17	218,71 a
60	54,99	43,51	41,40	37,17	44,27 b	211,96	212,23	237,09	230,73	223,00 a
Média (K)	60,08 A	46,98 AB	50,57 AB	39,03 B	49,17	180,33 B	185,24 B	211,35 A	217,08 A	198,50

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 13,81.

³ DMS (5%) para médias de K e S é 18,39.

tos independentes dos nutrientes estão claramente evidenciados pelo significativo aumento no conteúdo de N nas doses de 100 e 300 ppm de K e 30 e 60 ppm de S.

A aplicação de S e K no solo ácido manteve o efeito antagônico sobre o teor de N na massa seca produzida no terceiro corte, conforme se verifica na Tabela 31. Desta forma a combinação que resultou na menor concentração de N foi 30 ppm de S e 300 ppm de K. No pH₂, o teor de N caiu significativamente nas doses de 100 e 300 ppm de K, enquanto que em todas as doses de S este aumentou de forma expressiva. A dose de 15 ppm foi estatisticamente superior a testemunha e inferior às doses de 30 e 60 ppm de S. As mesmas tendências são mantidas quando a análise é feita sobre a quantidade de nitrogênio acumulado (Tabela 32), à exceção do potássio que neste caso, promoveu significativa elevação deste parâmetro a partir da dose de 100 ppm, a qual não difere de 300 ppm. Os resultados sugerem que a partir de 15 ppm de S a probabilidade de aumento no conteúdo de N é pequena.

Na Tabela 33 encontram-se os resultados do quarto corte. Os efeitos manifestados nos cortes anteriores continuam se evidenciando. Assim, no pH₁ a presença de K nas doses de 30, 100 e 300 ppm causaram significativa redução na % de N, o mesmo ocorrendo com o S na dose de 30 ppm. No solo pouco ácido o teor de N diminuiu com a presença de K nas doses de 100 e 300 ppm, porém, aumentou significativamente na presença de enxofre, onde doses de 15 ppm mostraram a mesma

Tabela 32 - Médias do conteúdo de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ²			pH ³															
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)															
	0	30	100	300	0	30	100	300											
	Média (S)			Média (S)															
0	44,44	56,47	67,96	54,22	55,77	a	89,86	ba	98,16	ba	84,71	ca	113,58	ba	96,58				
15	56,13	51,04	56,85	27,64	47,92	ab	149,12	a	B	172,69	a	B	226,60	ab	A	227,83	a	A	194,06
30	59,39	25,27	34,00	17,23	33,97	b	173,39	a	B	191,62	a	B	201,13	b	AB	241,72	a	A	201,96
60	49,24	35,69	31,19	31,37	36,87	ab	174,40	a	B	182,75	a	B	248,48	a	A	255,54	a	A	215,29
Média(K)	52,30	42,12	47,50	32,62	43,63		146,69			161,31			190,23			209,67			176,98

- ppm - ----- (mg/vaso) -----

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 20,95.

³ DMS (5%) para a interação K x S é 40,68.

Tabela 33 - Médias da concentração de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ² ₁			pH ³ ₂										
	Potássio (ppm)	Média (S)		Potássio (ppm)	Média (S)									
	0	30	100	300	0	30	100	300						
- ppm -	----- (%) -----													
0	3,32	3,22 ^o	3,25	3,27	3,26 ab	3,95	ba	3,54	bAB	3,18	b B	3,36	aAB	3,51
15	3,78	3,38	3,55	3,20	3,48 a	5,19	a A	4,54	a AB	3,81	ab BC	3,79	a C	4,33
30	3,84	2,88	2,94	2,71	3,09 b	4,39	bAB	4,79	a A	4,26	a AB	3,86	a B	4,33
60	2,36	3,35	2,86	2,98	3,14 ab	4,20	bAB	4,82	a A	4,54	a AB	3,88	a B	4,36
Média (K)	3,57	A	3,20	B	3,15	B	3,04	B	3,25	4,43	4,42	3,95	3,72	4,13

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DNS (5%) para médias de K e S é 0,34.

³ DNS (5%) para a interação K x S é 0,74.

eficiência que 30 e 60 ppm. O conteúdo de N no tratamento pH_1 mostrou uma queda na dose de 300 ppm de K em relação à média obtida na dose de 30 ppm de K, embora não tenha diferido da testemunha (Tabela 34). Também não houve efeito do S. No nível pH_2 , a dose de 15 ppm de S mostrou-se significativamente superior à testemunha, mas igual à 30 e 60 ppm, dentro da dose de 30 ppm de K. Já nas doses de 100 e 300 ppm de K, verifica-se que o melhor resultado passa a ser com 30 ppm de S. Neste caso a melhor combinação parece ser de 30 ppm de S e 100 ppm de K.

4.8. Efeitos sobre a concentração e o conteúdo de enxofre na parte aérea

Os efeitos do pH sobre o enxofre absorvido e translocado para a parte aérea da alfafa estão demonstrados na Tabela 12. No primeiro e segundo cortes a concentração de S no nível de pH_2 foi de 68% e 71%, respectivamente, daquelas observadas no nível de pH_1 . Já nos cortes posteriores as diferenças foram bem menores, não existindo inclusive significância no terceiro corte. Porém, quando se analisa o conteúdo de enxofre acumulado a situação se inverte, com os valores obtidos no nível de pH_2 sendo significativamente superiores em todos os cortes. Considerando a média de todos os cortes, a quantidade de enxofre presente nos tratamentos submetidos ao nível pH_2 foi 128% maior que a registrada no

Tabela 34 - Médias do conteúdo de nitrogênio na parte aérea da alfafa, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			pH ₂ ³												
	Potássio (ppm)	Média (S)	(mg/vaso)	Potássio (ppm)	Média (S)	(mg/vaso)										
0	30	100	300	0	30	100	300									
0	21,92	29,73 ^a	31,98	29,11	28,19	31,62	ba	46,88	ba	33,81	c	A	42,68	ca	38,72	
15	34,48	41,95	33,50	19,97	32,48	77,86	aba	105,58	aa	118,51	b	A	102,59	ba	101,13	
30	30,71	26,70	30,65	18,35	26,70	86,21	a	C	119,03	abc	152,68	abAB	179,29	aa	134,30	
60	35,42	35,73	28,54	25,15	31,21	66,28	abb	124,27	aa	174,85	a	A	158,03	aa	130,86	
Média(K)	30,63AB	33,53A	31,17AB	23,15B	29,62	65,49				98,94			119,96		120,65	101,27

¹Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

²DMS (5%) para médias de K e S é 9,66.

³DMS (5%) para a interação K x S é 51,03.

pH₁, evidenciando o efeito da acidez sobre a disponibilidade deste nutriente no solo.

Nas Tabelas 35, 37, 39 e 41 encontram-se os teores de enxofre na massa seca obtidos em todos os cortes. Como era de se esperar a aplicação deste nutriente aumentou a sua concentração nos tecidos em todos os cortes praticados, tanto no nível pH₁ como no nível pH₂. No solo muito ácido os maiores incrementos foram registrados entre as doses 15 e 30 ppm de S nos dois primeiros cortes e na dose de 60 ppm nos dois últimos cortes. No nível pH₂, a concentração de S no primeiro corte somente incrementou significativamente na dose 60 ppm, enquanto que, nos cortes posteriores as respostas ocorreram a partir da dose de 15 ppm de S. Neste nível de S a aplicação de 100 e 300 ppm de K favoreceram significativamente o aumento no teor de S na parte aérea da alfafa, por ocasião do 2º corte. O aumento na concentração foi seguido pela elevação da quantidade de S acumulado na parte aérea, durante os quatro cortes, no pH₂ (Tabelas 36, 38, 40 e 42). Esta acumulação foi expressiva até as doses de 30 ppm de S (2º, 3º e 4º cortes) e 60 ppm de S (1º corte). No pH₁, também, ocorreu aumento no conteúdo de S com o aumento das doses até 15 ppm (2º e 3º cortes) e 60 ppm (4º corte). A Figura 3 ilustra graficamente a relação entre doses de enxofre aplicadas no solo (pH₂) nos diferentes níveis de K e a concentração de S nos tecidos da alfafa.

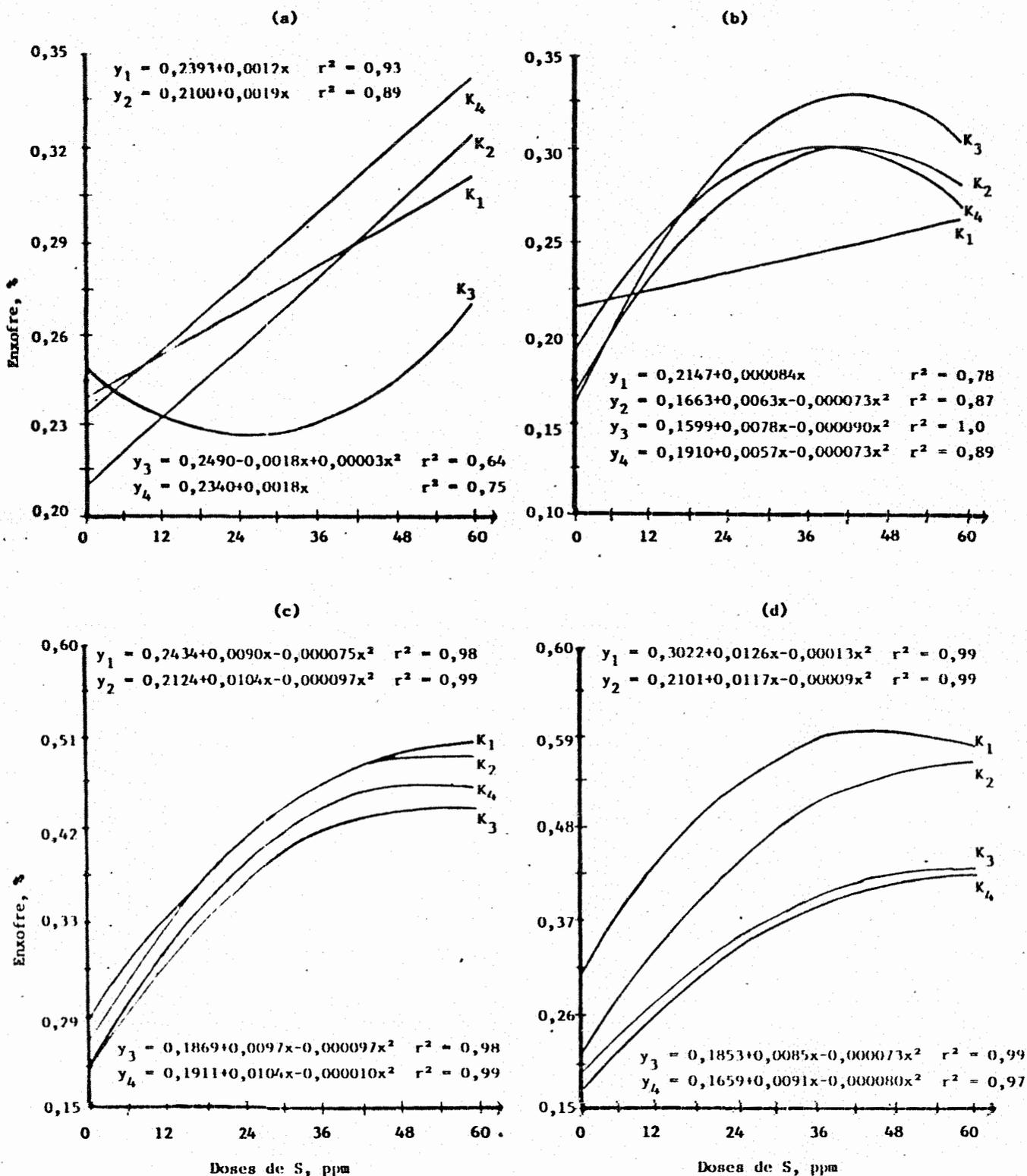


Figura 3 - Teor de enxofre na parte aérea da alfafa cultivada no solo pouco ácido (pH_2), no primeiro (a), segundo (b), terceiro (c) e quarto (d) cortes, em função das doses de enxofre aplicadas, dentro de cada nível de potássio.

Tabela 35 - Médias da concentração de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ² ₁			pH ³ ₂											
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)											
	0	30	100	0	30	100	300								
			Média (S)				Média (S)								
			300				300								
			(%)				(%)								
0	0,36	ba	0,31	bcAB	0,27	baB	0,24	cb	0,29	0,24	0,21	0,25	0,24	0,23	b
15	0,38	abb	0,26	cc	0,39	aAB	0,49	aa	0,38	0,26	0,22	0,21	0,28	0,24	b
30	0,42	aba	0,45	a	0,41	aa	0,36	ba	0,41	0,26	0,29	0,24	0,25	0,26	b
60	0,48	a	0,40	abAB	0,44	aAB	0,36	bb	0,42	0,31	0,31	0,27	0,36	0,31	a
Média (K)	0,41		0,35		0,38		0,36		0,38	0,27AB	0,26AB	0,24A	0,28B	0,26	

¹Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

²DNS (5%) para a interação K x S é 0,10.

³DNS (5%) para médias de K e S é 0,03.

Tabela 36 - Médias do conteúdo de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁			pH ₂			Média (S)			
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	0	30	100		300		
0	12,31 aA	9,34 aA	11,06 aA	8,57 bA	10,32	17,56	14,90	19,53	17,31	17,32 b
15	10,68 aB	8,58 aB	11,28 aB	16,99 aA	11,89	16,98	15,48	16,20	18,31	16,74 b
30	10,74 aA	9,21 aA	11,96 aA	10,33 bA	10,56	18,04	20,39	18,22	19,09	18,93 b
60	13,27 aA	12,21 aA	10,45 aA	11,57 bA	11,82	24,27	22,98	18,88	25,21	22,84 a
Média(K)	11,75	9,83	11,19	11,81	11,15	19,21	18,43	18,21	19,98	18,96

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para a interação K x S é 4,31.

³ DMS (5%) para médias de K e S é 2,73.

Tabela 37 - Médias da concentração de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			pH ₂ ³																
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)																
	0	30	100	300	0	30	100	300												
	Média (S)			Média (S)			Média (S)													
0	0,22	ba	0,25	ba	0,25	b	A	0,23	ba	0,24	0,22	aa	0,17	c	AB	0,16	bb	0,18	bab	0,18
15	0,41	aa	0,29	bb	0,31	abAB	0,37	aAB	0,35	0,21	ab	0,21	bcB	0,25	aAB	0,28	aa	0,24		
30	0,42	aa	0,43	aA	0,34	aba	0,41	aa	0,40	0,23	ab	0,31	a	A	0,31	aa	0,28	aAB	0,28	
60	0,36	ab	0,48	aa	0,42	a	AB	0,38	aAB	0,41	0,27	aa	0,27	abA	0,30	aa	0,27	aa	0,28	
Média (K)	0,35	0,36	0,33	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,23	0,24	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25		

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para a interação K x S é 0,11.

³ DMS (5%) para a interação K x S é 0,06.

Tabela 38 - Médias do conteúdo de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ²			pH ³														
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)														
	0	30	100	0	30	100	300											
	Média (S)			Média (S)														
0	5,54	4,99	6,75	4,52	5,45	b	9,48	7,60	8,17	10,39	8,91	c						
15	6,81	6,04	6,12	5,73	6,18	ab	9,85	11,37	16,10	16,84	13,54	b						
30	8,24	5,17	5,40	4,59	5,85	ab	12,40	15,92	19,55	19,56	16,86	a						
60	6,89	7,37	6,90	5,80	6,74	b	15,30	16,30	18,70	19,71	17,50	a						
Média (K)	6,87	A	5,89	AB	6,29	AB	5,16	B	6,06	11,76	B	12,80	B	15,88	A	16,37	A	14,21

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 1,22.

³ DMS (5%) para médias de K e S é 2,28.

Tabela 39 - Médias da concentração de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre ppm	pH ²			pH ³						
	Potássio (ppm)			Média (S)						
	0	30	100	300	0	30	100	300		
0	0,20	0,16	0,20	0,24	0,20	0,23	0,21	0,18	0,20	d
15	0,35	0,34	0,38	0,39	0,36	0,38	0,35	0,33	0,33	c
30	0,45	0,29	0,43	0,47	0,41	0,43	0,43	0,38	0,40	b
60	0,50	0,53	0,52	0,50	0,51	0,51	0,49	0,43	0,45	a
Média (K)	0,37	AB 0,33	B 0,38	AB 0,40	A 0,37	0,39	A 0,37	AB 0,33	C 0,34	BC 0,36

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DNS (5%) para médias de K e S é 0,06.

³ DNS (5%) para médias de K e S é 0,04.

Tabela 40 - Médias do conteúdo de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ²			pH ³											
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)											
	0	30	100	0	30	100	300								
	Média (S)			Média (S)											
0	2,67	2,88	3,76	3,86	3,29	b	5,36	c A	5,64	bA	4,37	cA	6,29	cA	5,42
15	5,58	4,62	5,59	3,54	4,83	ab	12,48	b B	14,01	aB	19,06	bA	19,01	bA	16,14
30	6,62	2,53	4,67	2,93	4,19	ab	14,95	abB	17,33	aB	18,25	bB	25,59	aA	19,03
60	7,10	5,05	5,34	4,97	5,62	a	18,33	a B	18,46	aB	24,48	aA	28,36	aA	22,41
Média (K)	5,49	3,77	4,84	3,82	4,49		12,78		13,86		16,54		19,81		15,75

--- ppm --- (mg/vaso) -----

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 1,91.

³ DMS (5%) para a interação K x S é 4,45.

Tabela 41 - Médias da concentração de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²				pH ₂ ³				
	Potássio (ppm)				Potássio (ppm)				
	0	30	100	300	0	30	100	300	
-- ppm --	-----				-----				
				Média (S)				Média (S)	
0	0,23	0,18	0,22	0,25	0,22	0,29	0,21	0,15	0,21
15	0,41	0,37	0,42	0,48	0,42	0,47	0,34	0,31	0,35
30	0,49	0,47	0,45	0,52	0,48	0,55	0,48	0,35	0,44
60	0,56	0,57	0,52	0,51	0,54	0,58	0,55	0,43	0,49
Média (K)	0,42	0,40	0,40	0,44	0,42	0,47	0,40	0,31	0,38
						A	B	C	C

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 0,05.

³ DMS (5%) para médias de K e S é 0,06.

Tabela 42 - Médias do conteúdo de enxofre na parte aérea da alfafa, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²				pH ₂ ³			
	Potássio (ppm)				Potássio (ppm)			
	0	30	100	300	0	30	100	300
	Média (S)				Média (S)			
0	1,47	1,72	2,22	2,18	2,42	2,88	2,08	1,94
15	3,82	4,59	3,92	3,02	7,14	8,10	8,88	8,41
30	3,92	4,38	4,66	3,52	10,46	11,51	13,45	16,22
60	5,97	5,89	5,01	4,34	8,30	14,22	16,62	17,29
Média (K)	3,80	4,14	3,95	3,26	7,08	9,18	10,26	10,96
								9,37

--- ppm --- (mg/vaso) ---

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 1,11.

³ DMS (5%) para a interação K x S é 3,75.

4.9. Efeitos sobre a concentração e o conteúdo de potássio na parte aérea

A elevação do pH resultou na diminuição da concentração e no aumento do potássio extraído nos tecidos da alfafa em todos os cortes praticados (Tabela 12). Considerando o incremento observado no rendimento de matéria seca, fica evidente um nítido efeito de diluição na concentração deste elemento. Registrou-se também uma queda expressiva na quantidade de K na parte aérea do terceiro para o quarto cortes.

Os resultados nas Tabelas 43, 45, 47 e 49 e nas Tabelas 44, 46, 48 e 50 mostram os efeitos da aplicação de K e S, sobre o teor e o conteúdo, respectivamente, de potássio na parte aérea da alfafa. Nos dois níveis de pH testados a adição de K produziu acréscimos significativos no teor e no conteúdo em todos os cortes. No nível pH₂ concentração de K superior a 1% praticamente só ocorreu em doses superiores a 30 ppm K. A Figura 4 mostra o comportamento geral destas relações.

No pH₂ se verificou que a adição de S aumentou a absorção de K, principalmente quando este foi aplicado nas doses de 100 e 300 ppm.. Ao contrário, a aplicação de S no solo muito ácido promoveu um efeito antagônico sobre a absorção de K, principalmente, no primeiro e segundo cortes, nos quais a redução da produção foi acompanhada pela diminuição na concentração e no conteúdo de K nas plantas.

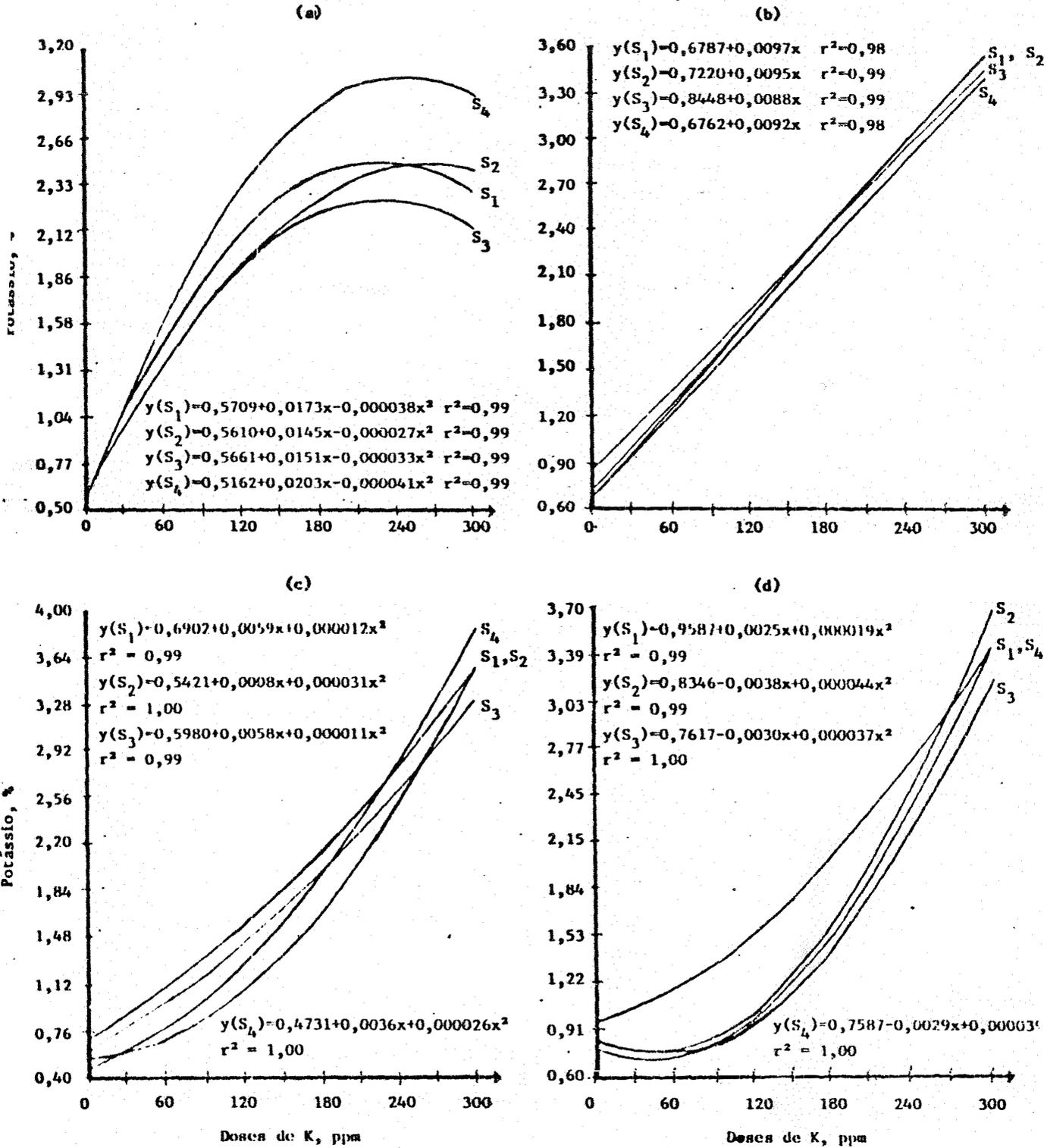


Figura 4 - Teor de K na parte aérea da alfafa no primeiro (a), segundo (b), terceiro (c) e quarto (d) cortes, em função de doses de K aplicadas, dentro de cada nível de enxofre utilizado (nível pH₂).

Tabela 43 - Médias da concentração de potássio na parte aérea da alafafa, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre - ppm -	pH ₁ ²			pH ₂ ³						
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	300	Média (S)	Média (S)				
0	0,81	1,53	2,19	2,68	1,80 a	0,63 ad	0,95 ac	1,96 abB	2,32 bcA	1,46
15	0,91	1,46	2,26	2,30	1,73 ab	0,61 ac	0,88 ac	1,77 bB	2,47 b A	1,43
30	0,88	1,44	1,83	2,17	1,58 bc	0,61 ac	0,91 ac	1,78 bB	2,15 cA	1,36
60	0,75	1,37	1,82	2,16	1,52 c	0,60 ad	0,95 ac	2,19 a B	2,91 a A	1,66
Média (K)	0,84D	1,45C	2,02B	2,32A	1,66	0,61	0,92	1,92	2,46	1,48

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 0,19.

³ DMS (5%) para a interação K x S é 0,31.

Tabela 44 - Médias do conteúdo de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH^1 .

Enxofre	pH_1^2			pH_2^3						
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	0	30	100	300			
			Média (S)				Média (S)			
0	27,90 aC	46,45 aB	89,23 aA	93,19 a A	64,19	45,48	67,53	149,19	167,53	107,43 ab
15	25,19 aC	46,96 aB	64,76 bAB	78,84 aBA	53,94	40,76	61,19	137,85	161,85	100,41 b
30	21,88 aB	29,36 aB	52,52 bcA	63,13 bA	41,72	42,53	63,93	133,57	165,11	101,28 b
60	20,55 aC	41,67 aB	42,86 cB	67,40 bA	43,12	46,13	69,49	152,82	203,58	118,00 a
Média(K)	23,88	41,11	62,34	75,64	18,62	43,72D	65,53C	143,36B	174,52A	40,51

----- (mg/vaso) -----

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para a interação K x S é 17,98.

³ DMS (5%) para médias de K e S é 13,41.

Tabela 45 - Médias da concentração de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²				pH ₂ ³					
	Potássio (ppm)				Potássio (ppm)					
	0	30	100	300	0	30	100	300		
	Média (S)				Média (S)					
0	1,26	2,12	3,17	3,88	2,61	0,69	0,77	1,88	3,52	1,71
15	1,55	2,17	3,08	3,77	2,64	0,67	0,94	1,82	3,51	1,74
30	1,30	2,45	3,07	3,20	2,51	0,89	1,04	1,74	3,47	1,78
60	1,35	2,16	2,99	3,11	2,40	0,74	0,77	1,73	3,40	1,66
Média (K)	1,36 D	2,23 C	3,07 B	3,49 A	2,54	0,75 C	0,88 C	1,79 B	3,47 A	1,73

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 0,34.

³ DMS (5%) para médias de K e S é 0,25.

Tabela 46 - Médias do conteúdo de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao segundo corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			pH ₂ ³						
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	0	30	100				
			Média (S)			Média (S)				
0	30,80	41,81	75,52	84,84	58,24 a	28,92	34,03	96,04	200,22	89,80 b
15	25,99	43,79	59,62	57,74	46,79 b	30,78	49,58	114,63	211,42	101,60 ab
30	25,32	29,15	48,15	35,93	34,64 c	46,61	53,69	108,97	240,72	112,50 a
60	25,65	33,49	48,81	48,26	39,05 bc	42,89	45,80	112,79	234,13	108,90 a
Média (K)	26,94 B	37,06 B	60,35 A	54,36 A	44,68	37,30 C	45,78 C	108,12 B	221,62 A	103,21

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 11,22.

³ DMS (5%) para médias de K e S é 14,81.

Tabela 47 - Médias da concentração de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao terceiro corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			pH ₂ ³			Média (S)			
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	300	0	30		100	300	
0	0,68 aC	1,10 aC	2,48 bB	3,87 a A	2,03	0,58 aC	1,05 aB	1,33 a B	3,54 bA	1,62
15	1,23 aB	1,58 aB	3,11 a A	3,37 aBA	2,32	0,53 aC	0,60 bC	0,92 b B	3,53 bA	1,39
30	1,09 aB	1,62 aB	2,68 aBA	2,99 bA	2,10	0,66 aC	0,67 bC	1,33 a B	3,34 bA	1,50
60	1,18 aC	1,66 aC	2,41 bB	3,27 bA	2,13	0,47 aC	0,61 bC	1,09 abB	3,86 aA	1,50
Média (K)	1,04	1,49	2,67	3,37	2,15	0,56	0,73	1,16	3,57	1,51

(%)

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para a interação K x S é 0,57.

³ DMS (5%) para a interação K x S é 0,28.

Tabela 48 - Médias do conteúdo de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao terço do corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH^1 .

Enxofre	pH_1^2			pH_2^3			Média (S)						
	Potássio (ppm)	Potássio (ppm)	Potássio (ppm)	Potássio (ppm)	Potássio (ppm)	Potássio (ppm)							
0	30	100	300	0	30	100	300						
----- (mg/vaso) -----													
0	9,24 aB	18,80 aB	46,36 aA	63,25 aA	34,41	13,16 aB	28,27 aB	32,41	bB	118,84	cA	48,17	
15	18,96 aB	21,21 aB	50,72 aA	30,87 bAB	30,44	17,49 aC	24,18 aC	53,22 abB	199,67	bA	73,64		
30	15,84 aA	12,84 aA	28,91 aA	19,17 bA	19,19	23,57 aC	26,68 aC	63,90	a	B	210,46	bA	81,15
60	16,74 aA	15,97 aA	24,36 aA	32,79 bA	22,47	16,61 aC	23,18 aC	61,73	a	B	243,75	aA	86,32
Média (K)	15,19	17,21	37,59	36,52	26,63	17,71	25,58	52,82	193,18	72,32			

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para a interação K x S é 26,79.

³ DMS (5%) para a interação K x S é 23,35.

Tabela 49 - Médias da concentração de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH¹.

Enxofre	pH ₁ ²			pH ₂ ³						
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	0	30	100	300			
	Média (S)			Média (S)						
0	1,06	1,34	2,62	3,56	2,14	1,00	0,98	1,42	3,14	1,70 a
15	1,26	1,44	2,56	2,89	2,04	0,87	0,69	0,92	3,64	1,53 ab
30	1,37	1,65	2,74	2,86	2,15	0,76	0,69	0,83	2,19	1,37 b
60	1,09	1,62	2,54	2,37	1,91	0,75	0,71	0,86	3,43	1,43 b
Média (K)	1,19 B	1,51 B	2,62 A	2,92 A	2,06	0,85 BC	0,77 C	1,01 B	3,41 A	1,51

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 0,49.

³ DMS (5%) para médias de K e S é 0,19.

Tabela 50 - Médias do conteúdo de potássio na parte aérea da alfafa, relativas ao quarto corte, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH ¹.

Enxofre	pH ² ₁			pH ³ ₂			Média (S)			
	Potássio (ppm)			Potássio (ppm)						
	0	30	100	30	100	300				
0	6,85	12,52	26,40	31,67	19,36	7,97 aB	12,99 aB	15,41 aB	42,77 cA	19,79
15	11,50	16,54	24,12	18,67	17,71	12,84 aB	16,44 aB	28,84 aB	98,72 bA	39,21
30	10,01	15,07	28,61	20,63	18,58	14,84 aB	17,37 aB	29,66 aB	147,55 aA	52,36
60	11,71	16,96	26,06	20,56	18,82	11,25 aC	18,30 aBC	33,35 aB	139,83 aA	50,68
Média (K)	10,02 C	15,27 BC	26,30 AB	22,88 A	50,75	11,73	16,28	26,81	107,22	106,79

--- ppm --- ----- (mg/vaso) -----

¹ Médias nas colunas e nas linhas seguidas pela mesma letra minúscula e maiúscula, respectivamente, não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

² DMS (5%) para médias de K e S é 7,92.

³ DMS (5%) para a interação K x S é 19,88.

5. DISCUSSÃO

Considerando os resultados extremamente prejudiciais do baixo pH sobre o crescimento das plantas, torna-se irrelevante discutir os efeitos do potássio e enxofre aplicados neste ambiente. Fatores ligados à acidez estão atuando no "mínimo", impedindo portanto a manifestação exercida por estes dois nutrientes sobre o desenvolvimento vegetal. Em nenhum momento a aplicação de K e S eliminou os efeitos nocivos do baixo pH e incrementou os parâmetros culturais relacionados com o rendimento da planta. Pelo contrário, em determinadas situações a aplicação das fontes contendo K e S interferiram de forma negativa no desenvolvimento, como por exemplo na redução do número de perfilhos total, causada pelo K (Tabela 19), e redução na produção de massa seca, causada principalmente pelo S (Tabela 26). Este fato pode ser decorrente das reações de troca entre os cátions dos sais utilizados como fonte de potássio e enxofre e o manganês adsorvido no complexo de troca, aumentando portanto, o nível deste último na solução, favorecendo sua absorção a níveis tóxicos, conforme explicam ADAMS & PEARSON (1967). Aplicação tanto de gesso (PAVAN, 1986 e NOVAIS et alii, 1989) como de cloreto de potássio (KORNELIUS, 1979) tem mostrado incrementar a absorção de Mn nos solos ácidos. Os resultados contidos na Tabela 51 e ilustrados na Figura 5 apresentam nítidas evidências do fenômeno descrito, notadamente pela aplicação de po-

Tabela 51 - Concentrações de cálcio, magnésio e manganês na parte aérea da alfafa nos diferentes cortes, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo com alta acidez (nível pH_1)¹.

Elementos	Doses	1º Corte				2º Corte				3º Corte				4º Corte			
		Ca	Mg	Mn	ppm..	Ca	Mg	Mn	%	Ca	Mg	Mn	%	Ca	Mg	Mn	%
Potássio	0	2,73 a	0,59 a	217 b	.....	2,22 a	0,54 a	168 b	.....	2,54 a	0,57 a	178 b	.....	3,81 a	1,01 a	280 b	.....
	30	2,31 b	0,45 b	181 b	.....	2,02 b	0,47 b	159 b	.....	2,06 ab	0,49 ab	162 b	.....	3,62 ab	0,81 b	324 b	.....
	100	2,18 bc	0,35 c	209 b	.....	1,68 c	0,35 c	193 b	.....	1,92 b	0,42 b	196 b	.....	3,21 b	0,63 c	401 b	.....
	300	2,07 c	0,34 c	417 a	.....	1,73 c	0,32 c	372 a	.....	1,88 b	0,41 b	410 a	.....	3,37 ab	0,63 c	982 a	.....
Enxofre	0	2,32 a	0,42 a	251 ab	.....	1,90 a	0,41 a	235 a	.....	1,98 a	0,45 a	216 b	.....	3,13 b	0,72 b	495 a	.....
	15	2,25 a	0,42 a	288 a	.....	1,83 a	0,42 a	210 a	.....	2,10 a	0,48 a	210 b	.....	3,25 b	0,74 ab	473 a	.....
	30	2,41 a	0,46 a	273 ab	.....	1,96 a	0,44 a	227 a	.....	2,06 a	0,45 a	213 b	.....	3,72 a	0,81 a	494 a	.....
	60	2,31 a	0,44 a	210 b	.....	1,97 a	0,41 a	220 a	.....	2,27 a	0,50 a	306 a	.....	3,92 a	0,81 a	525 a	.....

¹ Médias, para cada elemento, nas colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tu-key (5%).

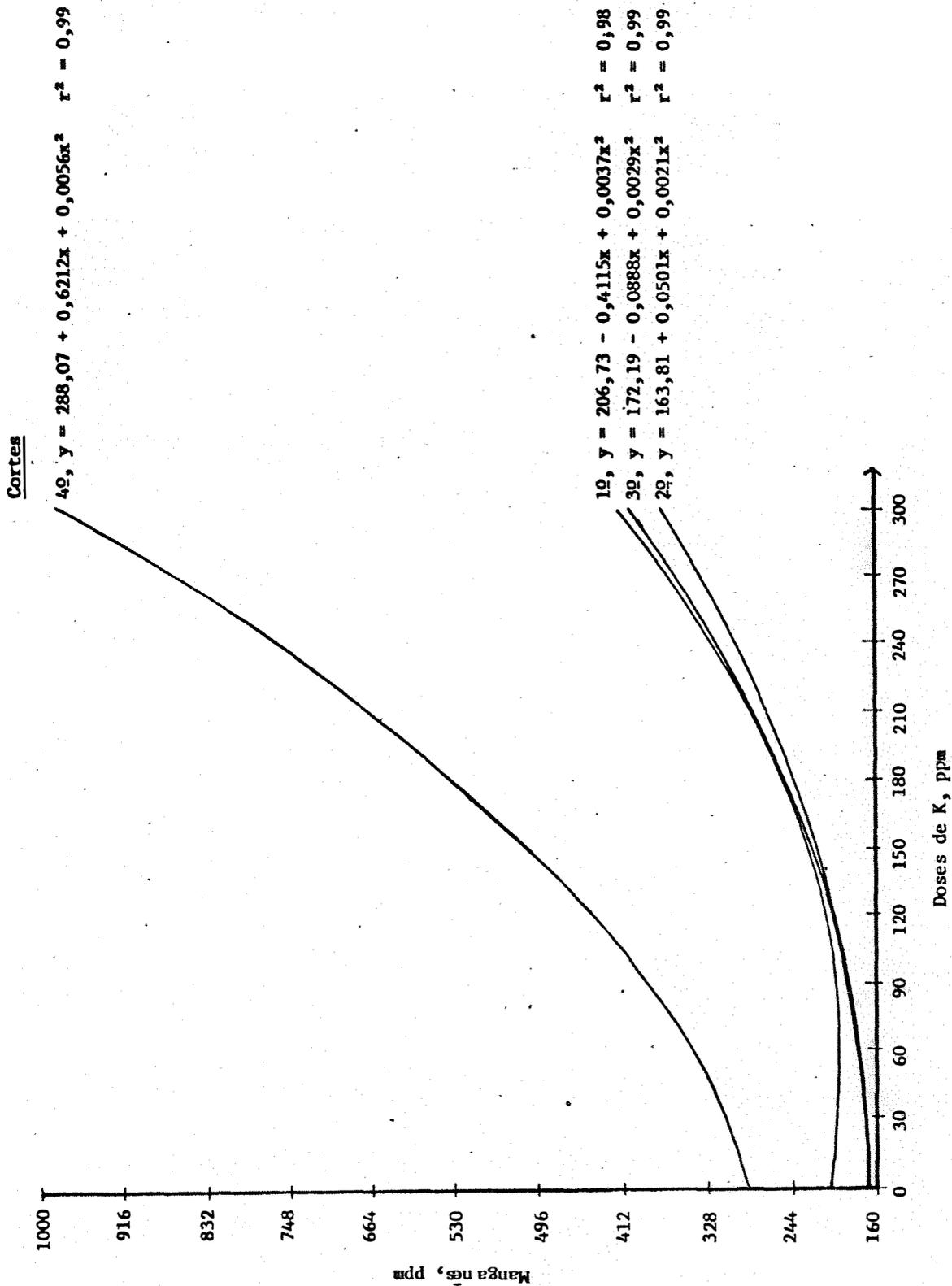


Figura 5 - Concentração de manganês na parte aérea da alfafa cultivada no solo com alta acidez (pH₁), nos quatro cortes, em função do potássio aplicado.

tássio na dose de 300 ppm. Neste caso, o incremento na concentração de manganês atingiu valores próximos a 100% nos três primeiros cortes, e acima deste no quarto corte. Considerando a aplicação de enxofre ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), este fato só foi observado no terceiro corte, quando da aplicação de 60 ppm de S. Deve-se ressaltar que a análise indica o teor do elemento na parte aérea, não relacionando aquele presente na raiz. Fatores, portanto, que restrinjam o transporte do Mn das raízes para a parte aérea, como acontece com o Ca (JACKSON, 1967), podem impedir acréscimos significativos deste elemento nas folhas.

A alta acidez do solo nos tratamentos submetidos ao nível pH_1 foi o fator que se manifestou de forma mais expressiva na restrição ao desenvolvimento da alfafa. Todos os parâmetros culturais medidos foram negativamente afetados pelo baixo pH, confirmando a alta sensibilidade desta forrageira à acidez do solo, conforme atestam RHYKERD & OVERDAHL (1972). O número de perfilhos por planta é um importante componente da produção em culturas forrageiras (FICK et alii, 1988), sendo afetado por diversos fatores entre os quais o nível de fertilidade do solo (BULA & MASSENGALE, 1972). Este efeito seria em resposta ao baixo vigor da planta presente neste ambiente. Neste trabalho constata-se a dimensão destes efeitos, quando o cultivo da alfafa no pH_2 praticamente dobrou o número total de perfilhos produzidos (Tabela 19). Além dos efeitos sobre a produtividade, esta redução no perfilhamento pode indicar, também, uma menor longevidade da cultura no campo como consequência direta do baixo vigor, e in-

direta por reduzir a resistência das plantas ao ataque de pragas e doenças. Deve-se ressaltar também que este fato criará um ambiente mais propício ao desenvolvimento de plantas daninhas, cujo controle é especialmente difícil nas lavouras de alfafa.

As diferenças observadas no desenvolvimento do sistema radicular em função do pH confirmam os resultados de SIMPSON et alii (1979) e PINKERTON & SIMPSON (1981). O aumento no peso de raízes é consequência de dois fatos. Individualmente as raízes se mostravam mais desenvolvidas no pH₂, conforme observação visual por ocasião de sua coleta. Isto é confirmado pelo diâmetro médio da raiz principal na sua extremidade superior, segundo se observa na Tabela 20. As raízes com maior diâmetro eram mais vigorosas e com abundância de raízes fibrosas. Por outro lado deve-se ressaltar que o aumento do pH é um importante fator na elongação de raízes de alfafa (SIMPSON et alii, 1979). No caso desta cultura, os benefícios de um sistema radicular desenvolvido não indicam somente efeitos positivos na absorção de água e nutrientes. Ela deve refletir, também, uma estrutura capaz de propiciar rebrotas mais intensas, uma vez que a raiz primária é o principal órgão de armazenamento das substâncias de reservas que serão utilizadas no crescimento dos perfilhos remanescentes e/ou que surgem após o corte (HODGKINSON, 1970 e HEICHEL et alii, 1988).

Plantas menos perfilhadas, menores e pouco

Tabela 52 - Concentrações de cálcio, magnésio e manganês na parte aérea da alfafa nos diferentes cortes, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo com baixa acidez (nível pH_2)¹.

Elementos Doses	1º Corte				2º Corte				3º corte				4º Corte													
	Ca	Mg	Mn	.....%	Ca	Mg	Mn	.....%	Ca	Mg	Mn	.....%	Ca	Mg	Mn%										
Potássio	0	2,70 a	0,51 a	109 a	2,34 a	0,54 a	95 a	2,78 a	0,74 a	122 ab	3,40 bc	0,92 a	149 c	30	2,31 b	0,36 b	96 b	2,24 a	0,45 b	97 a	2,75 ab	0,69 a	135 a	3,60 b	0,85 a	191 b
	100	1,87 c	0,24 c	75 c	1,95 b	0,32 c	80 b	2,50 b	0,54 b	132 ab	4,06 a	0,85 a	227 b	300	1,98 c	0,22 c	91 b	1,71 c	0,19 d	91 ab	1,85 c	0,30 c	117 b	3,09 c	0,43 b	254 a
Enxofre	0	2,30 a	0,34 a	94 ab	2,23 a	0,39 a	99 a	2,41 a	0,55 a	130 ab	4,28 a	0,86 b	236 a	15	2,25 ab	0,34 a	94 ab	2,42 a	0,56 a	119 b	2,42 a	0,56 a	119 b	3,26 b	0,76 a	212 ab
	30	2,07 b	0,32 a	84 b	1,95 b	0,36 a	85 b	2,44 a	0,56 a	120 b	3,15 b	0,71 a	180 b	60	2,24 ab	0,33 a	101 a	1,95 b	0,37 a	84 b	2,61 a	0,60 a	137 a	3,46 b	0,74 a	193 b

¹ Médias, para cada elemento, nas colunas seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey (5%).

Tabela 53 - Médias da concentração de nitrogênio na metade superior da parte aérea da alfafa em três cortes, em função de doses de potássio e enxofre aplicados em dois níveis de pH.

Elementos	Doses	Primeiro Corte		Segundo Corte		Terceiro Corte	
		pH ₁	pH ₂	pH ₁	pH ₂	pH ₁	pH ₂
Potássio	0	1,97	2,79	3,46	4,09	-	5,34
	30	1,84	2,79	3,29	4,07	-	4,99
	100	1,81	2,86	3,12	4,06	-	4,70
	300	1,73	3,04	3,06	3,91	-	4,42
Enxofre	0	1,94	2,98	3,29	3,79	-	4,13
	15	1,79	2,77	3,31	4,01	-	4,89
	30	1,78	2,86	3,12	4,27	-	5,15
	60	1,84	2,94	3,20	4,07	-	5,29

1 Não determinado por insuficiência de massa seca.

vigorosas culminaram numa redução na produção total de massa seca em cerca de 65%, indicando a impossibilidade de se cultivar alfafa neste solo em valores de pH em água próximos ou inferiores a 5,5. Assumindo que o balanço entre a fotossíntese e a respiração controla a taxa de incremento de massa seca de qualquer cultura (FICK et alii, 1988), a causada baixa fertilidade do solo no pH_1 deve estar ligada a fatores que interferem nestas reações. As evidências demonstradas neste trabalho apontam para duas direções. Os resultados apresentados nas Tabelas 26 a 33, inclusive, mostram claramente o menor suprimento de nitrogênio no nível pH_1 , em todos os cortes. Até o primeiro corte, todas as plantas cultivadas no solo ácido apresentaram os sintomas característicos de deficiência de nitrogênio, com plantas menores e clorose acentuada, principalmente nas folhas mais velhas. Por outro lado as plantas no pH_2 apresentavam-se vigorosas e verdes, demonstrando que o metabolismo do nitrogênio estava se processando adequadamente. Considerando a concentração na planta inteira, os teores médios observados nos níveis pH_1 e pH_2 foram de 1,44 e 2,38% N, respectivamente, no 1º corte (Tabela 26). Estes valores estão abaixo daquele ideal sugerido por RHYKERD & OVERDAHL (1972), que é de pelo menos 3%. Porém, se considerarmos a concentração existente na metade superior da planta (Tabela 53), o teor apresentado pelas plantas no pH_2 se encontra na faixa de suficiência que assegura alta produtividade, que é de 2,5 a 3,7% N (LANYON & GRIFFITH, 1988). No ní-

vel pH_1 as médias estão aquém do limite inferior da faixa, no primeiro corte, aumentando substancialmente nos cortes posteriores. Visualmente as plantas realmente já não mostravam os sintomas observados por ocasião do primeiro corte. Este aumento na concentração de N no solo ácido após o corte inicial parece ser devido o "efeito de concentração" sugerido por JARREL & BEVERLY (1981), ou seja, a redução na produção de massa seca é acompanhada pela elevação significativa da concentração do mesmo, sem grandes alterações no conteúdo do elemento em questão.

Assumindo que a principal fonte de N seja N_2 atmosférico fixado pelo *Rhizobium meliloti*, confirma-se a importância do pH como parâmetro ambiental determinante da eficiência da simbiose, conforme acentuado por VANCE et alii (1988), onde máxima nodulação e fixação geralmente só ocorrem em pH igual ou maior que 6,0 (ANDREW & HUTTON, 1974). O baixo pH determina uma menor população de *Rhizobium meliloti* no solo (MAHLER, 1983) e uma menor quantidade de nódulos nas raízes (POHLMAN, 1946), diminuindo conseqüentemente a fixação do nitrogênio atmosférico. A deficiência deste elemento interfere na síntese de clorofila, reduzindo a fotossíntese (BROWN & ASHLEY, 1974) e a produção de matéria seca.

Elevada quantidade de manganês normalmente presente em solos oriundos de rochas básicas (VALADARES & CAMARGO, 1983) aliada ao baixo pH (BATAGLIA, 1988) foram, possivelmente, as causas determinantes da alta concentração de

manganês nos tecidos da alfafa em todos os cortes praticados nos tratamentos submetidos ao nível pH_1 (Tabela 12). Os valores médios encontrados estão acima do nível crítico para toxidez de Mn em alfafa, citado por OUELLETTE & DESSUREAUX (1958), que é de 175 ppm, porém abaixo daqueles encontrados por SMITH et alii (1983) e ANDREW & HEGARTY (1969), que foram de 340 e 380 ppm de Mn, respectivamente. Na Tabela 51 verifica-se que somente na dose 300 ppm K atingiu-se níveis tão elevados ou mais que os citados pelos dois últimos autores. Neste nível de pH, independente das doses de enxofre utilizadas, todas as plantas submetidas à dose de 300 ppm de K mostraram nas suas folhas mais maduras a partir do ápice e de forma marginal, uma clorose bastante evidente, assemelhando-se aos sintomas que ocorrem em condições de toxidez muito intensa de Mn, conforme descrição de SUTTON & HALLSWORTH (1958). Excessiva queda de folhas também foi constatada, confirmando a observação de MAHONEY et alii (1982). Os resultados obtidos concordam com KABATA-PENDIAS & PENDIAS (1985), os quais afirmam que solos apresentando altos níveis de Mn e com pH igual ou menor que 5,5 são prováveis de induzir toxidez às culturas. Deve-se ressaltar, contudo, que a resposta diferencial entre cultivares de alfafa (DESSUREAUX & OUELLETTE, 1958) e condições ambientais predominantes durante a investigação, como intensidade luminosa (SUTTON & HALLSWORTH, 1958), podem influenciar o comportamento da planta quando exposta a diferentes níveis de Mn no substrato.

Os efeitos tóxicos do Mn podem ser devidos à ação antagônica deste sobre a absorção de outros elementos como Ca, Mg e Fe (MARSCHNER, 1986), o que não ocorreu no presente trabalho segundo se conclui pela análise dos resultados apresentados na Tabela 51. Os teores de Ca e Mg estão em níveis suficientes, o mesmo acontecendo com o teor de Fe (Tabela 54). Efeito direto da toxidez do Mn sobre a cultura da alfafa foi demonstrado por SMITH et alii (1983), os quais concluíram que o excesso deste micronutriente diminuiu a produção de clorofila e portanto a capacidade fotossintética da planta, a qual passou a produzir menos carboidratos. Como resultado esta produziu menor massa e suas raízes tiveram menos desenvolvimento. Com o estabelecimento do nível pH_2 em valores próximos à neutralidade, a concentração de Mn em todos os tratamentos (Tabela 52) estiveram sempre abaixo dos níveis tóxicos (à exceção do quarto corte), concordando com diversos pesquisadores (JOHN et alii, 1972; JANGHORBANI et alii, 1975; MAHONEY et alii, 1981 e GUPTA & WILLIS, 1982).

Outras causas ligadas à improdutividade dos solos ácidos, como baixos teores de Ca e Mg e toxidez de Al (MALAVOLTA, 1985), não devem estar atuando nesta pesquisa a julgar pelos resultados expressos nas Tabelas 10 e 51. Apesar da grande sensibilidade desta cultura ao alumínio (ANDREW & HUTTON, 1974), o pH (água) médio no solo ácido foi de 5,4 (Tabela 11), no qual, segundo QUAGGIO (1983), o Al presente encontra-se neutralizado, não exercendo efeitos tóxi-

Tabela 54 - Médias da concentração de fósforo, cobre, zinco e ferro na parte aérea da alfafa, relativas ao primeiro e quarto cortes, em função de doses de potássio e enxofre aplicados no solo em dois níveis de pH.

Elementos	Primeiro Corte										Quarto Corte									
	Doses (ppm)		P		Cu		Zn		Fe		P		Cu		Zn		Fe			
	pH ₁	pH ₂																		
			----- % -----								----- % -----								----- ppm -----	
Potássio	0	0,44	0,26	17	15	86	54	324	235	0,47	0,57	24	23	86	81	678	437			
	30	0,43	0,25	16	12	74	51	330	212	0,41	0,43	18	18	69	59	545	468			
	100	0,37	0,23	14	11	64	45	265	233	0,37	0,30	18	15	65	48	482	390			
	300	0,33	0,21	13	11	62	48	232	203	0,35	0,25	16	11	73	51	560	390			
Enxofre	0	0,34	0,24	16	14	77	64	316	199	0,37	0,40	22	17	65	49	575	447			
	15	0,37	0,23	14	12	67	47	301	207	0,38	0,41	19	16	81	61	423	421			
	30	0,47	0,24	16	12	75	49	273	246	0,42	0,40	18	16	78	59	642	396			
	60	0,41	0,26	14	12	69	39	262	232	0,43	0,43	17	18	70	69	624	425			

cos.

Somente quando se eliminou o efeito detrimental do pH, pode-se observar os benefícios oriundos da aplicação de potássio e enxofre. Componentes importantes da produção como altura de plantas e número de perfilhos foram influenciados positivamente por K e S e por S, respectivamente. O K aumenta a altura das plantas por alongar o internódio e não por aumentar seu número (COOPER et alii, 1967). De maneira semelhante, os efeitos sobre estes parâmetros somente se manifestaram a partir do terceiro corte. A princípio os resultados obtidos não concordam com aqueles registrados por KELLING & ERICKSON (1984) e GERWIG & AHLGREN (1958), os quais constataram efeitos positivos da adubação potássica sobre o stand de plantas. Dois aspectos podem justificar esta discrepância: a) os trabalhos dos referidos autores foram desenvolvidos por períodos de 2 a 3 anos em condições de campo, atingindo portanto níveis de deficiência possivelmente diferentes daquelas registradas no presente trabalho; b) como os trabalhos foram desenvolvidos no campo, efeitos da deficiência de K reduzindo a resistência das plantas ao ataque de doenças (KELLING et alii, 1984 e PONTAILLER, 1980) e pragas (TESAR, 1968), bem como suportando menos a concorrência com as plantas daninhas, contribuirão para a morte das plantas e conseqüente redução da população. Como estes fatores são melhor controlados em casa de vegetação, seus efeitos pouco contribuirão sobre o desenvolvimento das plantas.

Os reflexos do fornecimento de enxofre sobre o número de perfilhos estão em de acordo com os registrados por LOCKYER & COWLING (1981) e DeBOER & DUKE (1982), em trabalhos desenvolvidos em casa de vegetação que envolveram o período correspondente a 4 e 3 cortes, respectivamente. Nos dois casos a deficiência de enxofre contribuiu de forma significativa para a redução do perfilhamento. Os primeiros autores também verificaram que a presença do S aumentou o comprimento dos perfilhos e o peso das raízes, o mesmo ocorrendo no trabalho de BORDELEAU et alii (1981) em relação às raízes. Na presente pesquisa, o peso de raízes (Tabela 21) não aumentou pela adição de enxofre, porém estas apresentaram maior diâmetro (Tabela 20). Já o potássio incrementou as médias dos dois parâmetros citados. No que diz respeito às avaliações até aqui mencionadas, os resultados convergem para as doses de 100 ppm de K e 15 ppm de S como suficientes para obtenção de resultados adequados

O nível original de K e S do solo foi suficiente para atender a demanda até o primeiro corte. A partir daí nos três cortes subsequentes somente com a aplicação destes nutrientes alcançou-se maiores rendimentos de matéria seca (Tabelas 22, 23, 24, 25 e 26). Todos os parâmetros culturais medidos indicaram uma queda acentuada no desenvolvimento da cultura por ocasião do quarto corte. Isto se deve principalmente à acentuada diminuição da temperatura registrada no período, fato que contribuiu significativamente na

redução da produtividade desta cultura no campo (SAIBRO, 1984). Nos meses de fevereiro a abril a temperatura média ficou próxima a 25°C enquanto que, no período de junho e julho, esta caiu para cerca de 16°C. Deve-se ressaltar também a menor insolação existente nesta época do ano, quando os dias são mais curtos.

É interessante observar que além das respostas na produção, também o desenvolvimento de sintomas foliares típicos de deficiência de potássio somente se manifestaram após o primeiro corte. Pequenas pontuações de coloração castanho-claro surgem a partir do ápice das folhas mais maduras, se distribuindo de forma marginal pelas mesmas. Em caso de deficiência intensa muitas destas folhas apresentaram-se inicialmente com suas margens completamente cloróticas e posteriormente necróticas, de forma semelhante à descrita por SMITH et alii (1982). Segundo estes autores, um exame microscópico em uma destas pontuações no estágio inicial de desenvolvimento mostrou que enquanto o tecido epidérmico permanecia intacto, as células do mesófilo se encontravam completamente destruídas. A nível de campo também é mais frequente o surgimento dos sintomas durante o segundo e o terceiro cortes (TINDALL & BOND, 1990). A explicação para este comportamento parece residir em dois fatos. O primeiro pelo esgotamento natural dos nutrientes existentes no solo após os cortes iniciais, podendo reduzir os teores a níveis limitantes ao desenvolvimento da cultura. Outro aspecto im-

portante está relacionado com o fato de que para se efetuar o 1º corte, o período de crescimento é aproximadamente 3 vezes maior do que os posteriores.

No presente trabalho, ao confrontar-se os resultados de produção de massa seca na dose de 300 ppm de K e 60 ppm de S do primeiro corte (Tabela 22) com a obtida no segundo corte no mesmo tratamento (Tabela 23), verifica-se que estes foram bastante próximos. Porém até o primeiro corte a demanda de nutrientes ocorreu num período de 71 dias, resultando numa acumulação média de 2,86 mg/vaso/dia de K. Do primeiro para o segundo corte as exigências da planta foram atendidas num período de 29 dias, exibindo assim uma acumulação média de 8,07 mg/vaso/dia de K. Esta demanda ativa verificada após o primeiro corte explica porque podem ser criadas zonas de deficiência na interface solo-raiz de alfafa mesmo em solos com alto nível de K disponível (LANYON & GRIFITH, 1988). Desta forma o teor no solo adequado para atender a demanda até o primeiro corte poderá não o ser para os posteriores, induzindo a partir daí deficiência do referido nutriente.

Através das Figuras 6, 7 e 8 constata-se o expressivo efeito dos nutrientes sobre o rendimento de massa seca, bem como da interação entre ambos. A análise geral dos resultados não somente do rendimento da cultura, mas também dos outros parâmetros culturais medidos (número de perfilhos, altura de plantas) demonstram que as doses entre 100 e 300 ppm de K e 15 e 30 ppm de S propiciaram os melhores resulta-

(c)

$$y_2 = 1,5968 + 0,0221x - 0,00006x^2 \quad r^2 = 0,97$$

$$y_3 = 2,2486 + 0,0085x \quad r^2 = 0,92$$

$$y_4 = 1,6164 + 0,0299x - 0,00007x^2 \quad r^2 = 0,99$$

(b)

$$y_1 = 2,3466 + 0,0032x \quad r^2 = 0,81$$

$$y_2 = 3,1831 + 0,0342x - 0,00008x^2 \quad r^2 = 0,99$$

$$y_3 = 3,6898 + 0,0090x \quad r^2 = 0,97$$

$$y_4 = 3,3399 + 0,0278x - 0,00006x^2 \quad r^2 = 0,97$$

(a)

$$y_1 = 4,2767 + 0,0050x \quad r^2 = 0,90$$

$$y_2 = 4,6243 + 0,0227x - 0,000060x^2 \quad r^2 = 1,0$$

$$y_3 = 5,2776 + 0,0059x \quad r^2 = 0,88$$

$$y_4 = 5,6201 + 0,0113x - 0,000023x^2 \quad r^2 = 0,99$$

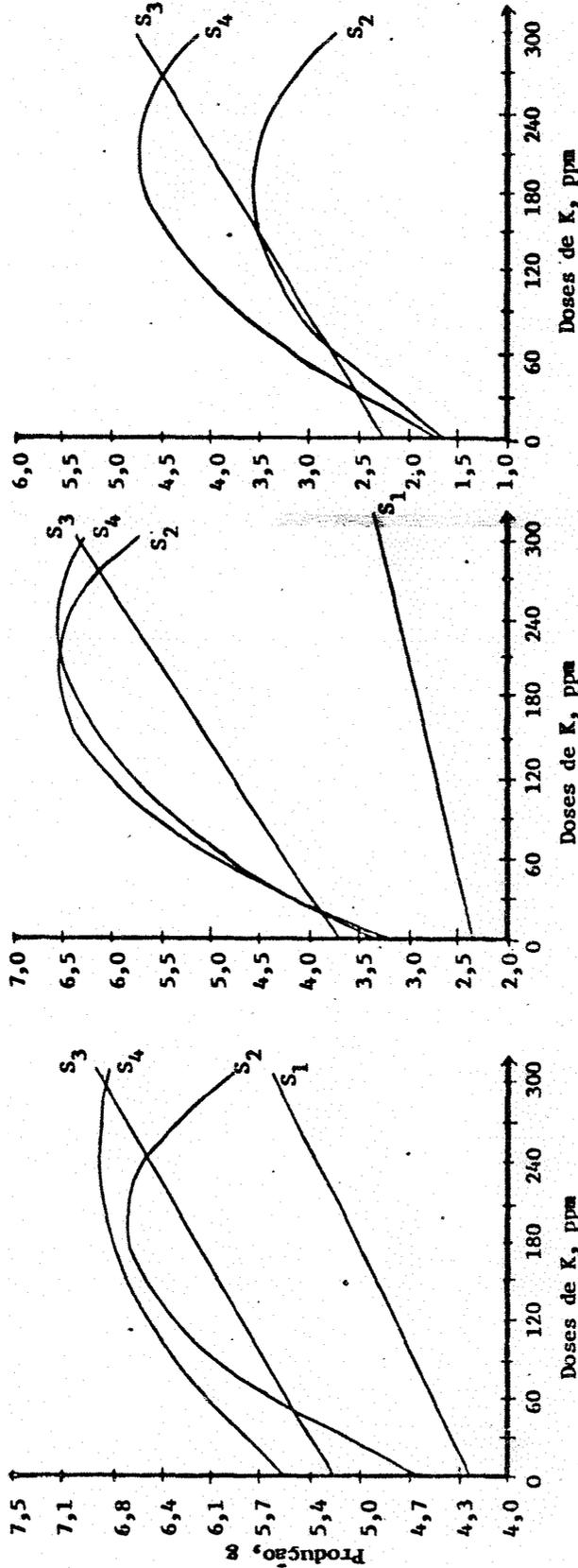


Figura 6 - Produção de massa seca de alfafa no segundo (a), terceiro (b) e quarto (c) cortes, em função de doses de potássio, dentro de cada nível de enxofre.

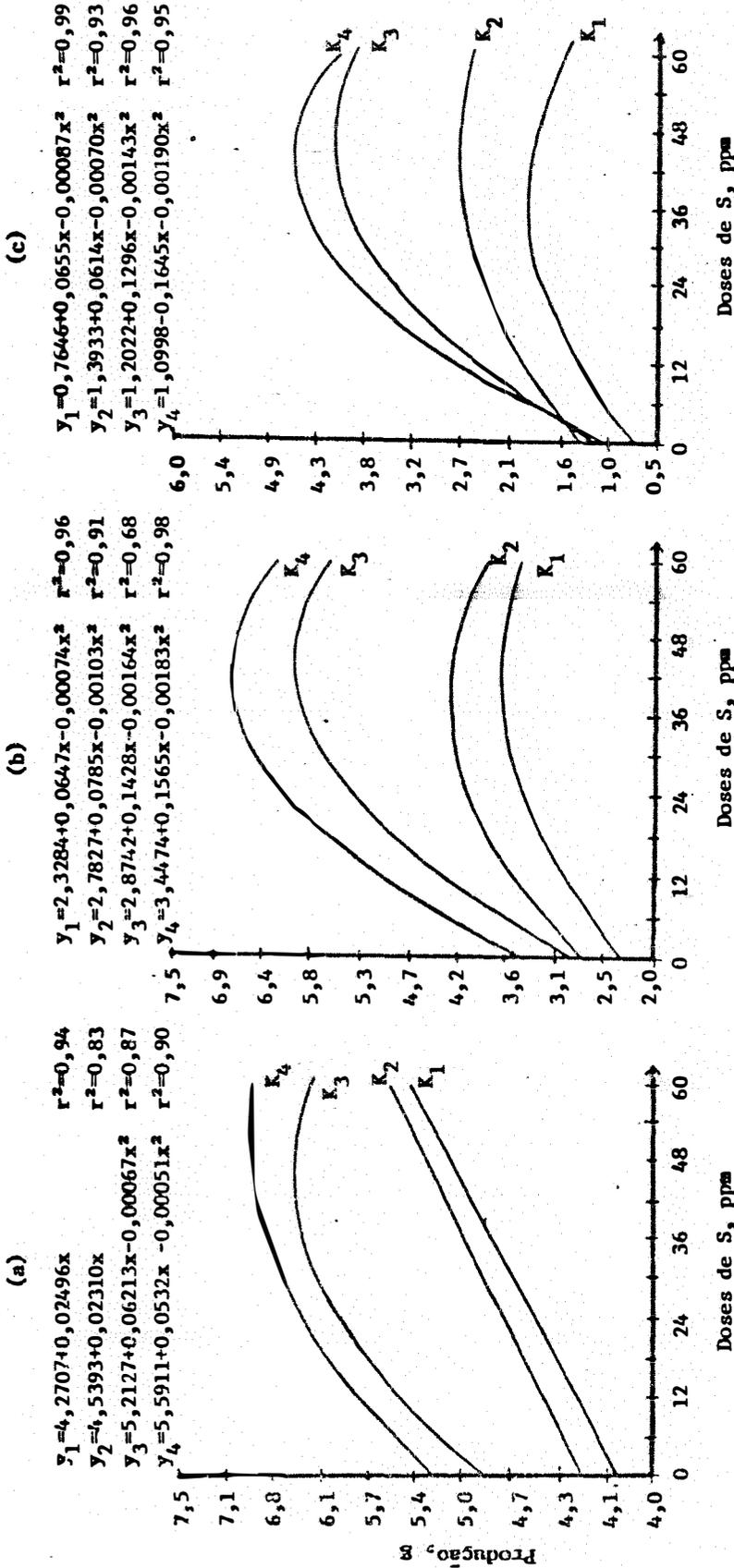
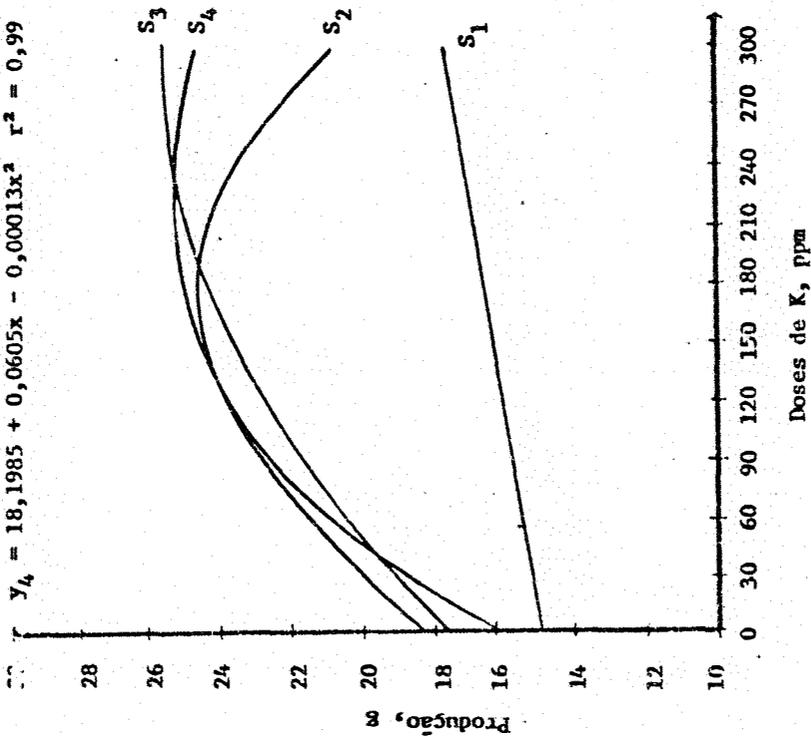


Figura 7 - Produção de massa seca de alfafa no segundo (a), terceiro (b) e quarto (c) cortes, em função de doses de enxofre, dentro de cada nível de potássio.

(a)

$$\begin{aligned} Y_1 &= 14,8988 + 0,0091x & r^2 &= 0,90 \\ Y_2 &= 15,9348 + 0,0971x - 0,00027x^2 & r^2 &= 0,99 \\ Y_3 &= 17,3910 + 0,0554x - 0,00009x^2 & r^2 &= 0,99 \\ Y_4 &= 18,1985 + 0,0605x - 0,00013x^2 & r^2 &= 0,99 \end{aligned}$$



(b)

$$\begin{aligned} Y_1 &= 14,8767 + 0,0659x \\ Y_2 &= 15,6600 + 0,1715x - 0,00181x^2 & r^2 &= 0,92 \\ Y_3 &= 16,9487 + 0,3395x - 0,00403x^2 & r^2 &= 0,81 \\ Y_4 &= 17,1350 + 0,3857x - 0,00441x^2 & r^2 &= 0,95 \end{aligned}$$

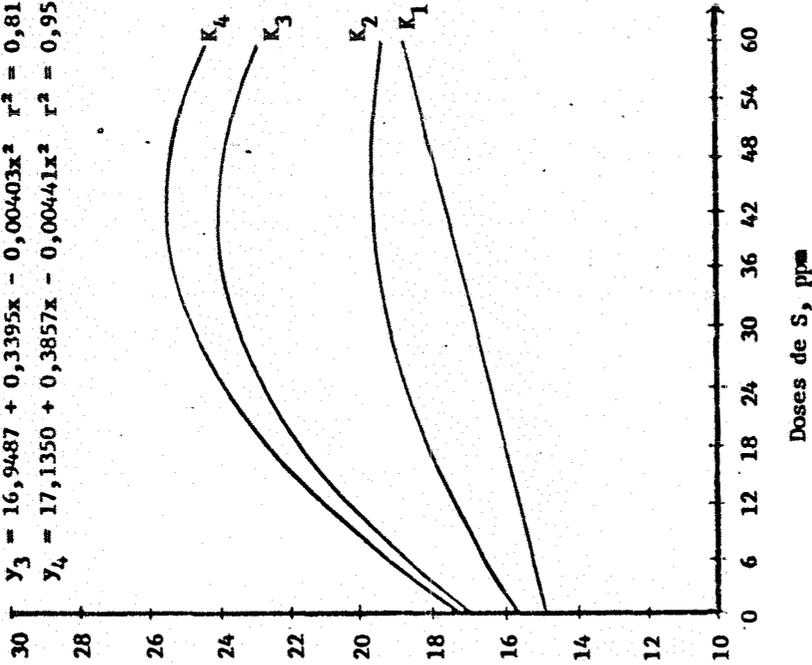


Figura 8 - Produção de massa seca total em função de doses de potássio (a) e enxofre (b).

dos. Utilizando as equações de regressão definiu-se as doses de K e S necessárias para atingir 100 e 90% da produção máxima, cujos resultados encontram-se na Tabela 54. As doses de potássio foram calculadas dentro do nível S_4 e vice-versa. Constata-se que as doses críticas se encontram no intervalo mencionado.

Tabela 54 - Doses de potássio e enxofre necessárias para atingir 100 e 90% da produção máxima de alfafa no segundo, terceiro e quarto cortes e na produção total.

Elementos	Produção	Equações de Regressão		Doses (ppm)	
		y (produção) e x (doses K ou S)		100%	90%
Potássio	2º corte	$y = 5,6201 + 0,0113x - 0,000023x^2$		246	71
	3º corte	$y = 3,3399 + 0,0278x - 0,000060x^2$		231	127
	4º corte	$y = 1,6364 + 0,0294x - 0,000072x^2$		208	127
	Total	$y = 18,1985 + 0,0605x - 0,00013x^2$		233	93
Enxofre	2º corte	$y = 5,5911 + 0,0532x - 0,00051x^2$		52	15
	3º corte	$y = 3,4474 + 0,1565x - 0,00186x^2$		42	23
	4º corte	$y = 1,0998 + 0,1654x - 0,00190x^2$		44	28
	Total	$y = 17,1350 + 0,3857x - 0,00441x^2$		44	20

Principalmente nas culturas forrageiras como a alfafa, a intensidade de desenvolvimento é definida pela integração entre as taxas de fotossíntese, respiração e

translocação (BROWN & ASHLEY, 1974). Evidências da importância do K no aumento do processo fotossintético foram registradas por FISCHER (1968) e confirmadas em diversos trabalhos com alfafa (COOPER et alii, 1967; PEOPLES, 1982). Embora as pesquisas demonstrem a influência do K na atividade estomatal, seus efeitos sobre a ativação enzimática e produção de ATP são provavelmente as principais causas do incremento na fotossíntese (SANDERS, 1988). Na deficiência de enxofre ocorre inibição da síntese de proteína (MARSCHNER, 1986) e redução do conteúdo de clorofila (DeBOER & DUKE, 1982), a qual pode ser acompanhada por uma queda na fotossíntese (BROWN & ASHLEY, 1974).

Outra importante contribuição do potássio para o desenvolvimento da alfafa reside em aumentar a translocação das substâncias orgânicas sintetizadas na parte aérea para as raízes, as quais são fundamentais para garantir uma rebrota mais produtiva, conforme verificou McLEOD (1965a). O efeito do potássio sobre o transporte se manifesta de forma indireta (SANDERS, 1988) e direta (HARTT, 1969), e pode superar em importância seu papel sobre a fotossíntese (HEICHEL et alii, 1988). A falta de potássio e enxofre nos sistemas simbióticos afeta também a nutrição nitrogenada.

Analisando os resultados relativos ao teor e conteúdo de nitrogênio na parte aérea da alfafa em todos os cortes, constata-se que a aplicação de potássio e enxofre aumentou a fixação do N_2 . Para o potássio duas indicações cla

ras evidenciam esta relação. No primeiro corte, apesar de não ter ocorrido aumento na produção, verificou-se aumentos na concentração e no conteúdo de N quando se aplicou a dose de 300 ppm K (Tabelas 27 e 28 e Figura 9). Nos cortes posteriores as médias da concentração de N em função do potássio (independente das doses de S) diminuíram, num claro efeito de diluição, o que dificulta a interpretação. Existiram casos porém em que a produção aumentou, o conteúdo de N aumentou e a concentração permaneceu a mesma. Isto pode ser comprovado através dos resultados de concentração e conteúdo de N obtidos na massa seca do segundo corte em função de doses de K, dentro da dose 15 ppm S (Tabelas 23, 29 e 30). Segundo JARREL & BEVERLY (1981) o tipo de relação acima citada entre concentração, conteúdo e produção confirma um efeito sinérgico entre as variáveis, ou seja, aumento na disponibilidade do potássio favoreceu a acumulação de N oriundo da fixação biológica.

A aplicação de K aumentou significativamente o teor deste elemento na parte aérea das plantas em todos os cortes. Uma vez que este aumento nem sempre implicou em incremento na produção, poder-se-ia aplicar neste caso o clássico conceito de absorção de luxo (ANDREW, 1968). Entretanto, embora não tenha existido um efeito quantitativo, é possível que a qualidade da forragem tenha sido favorecida, através do aumento da quantidade de nitrogênio e, conseqüentemente, de proteína bruta, uma vez que 80 a 85% do N nas plan

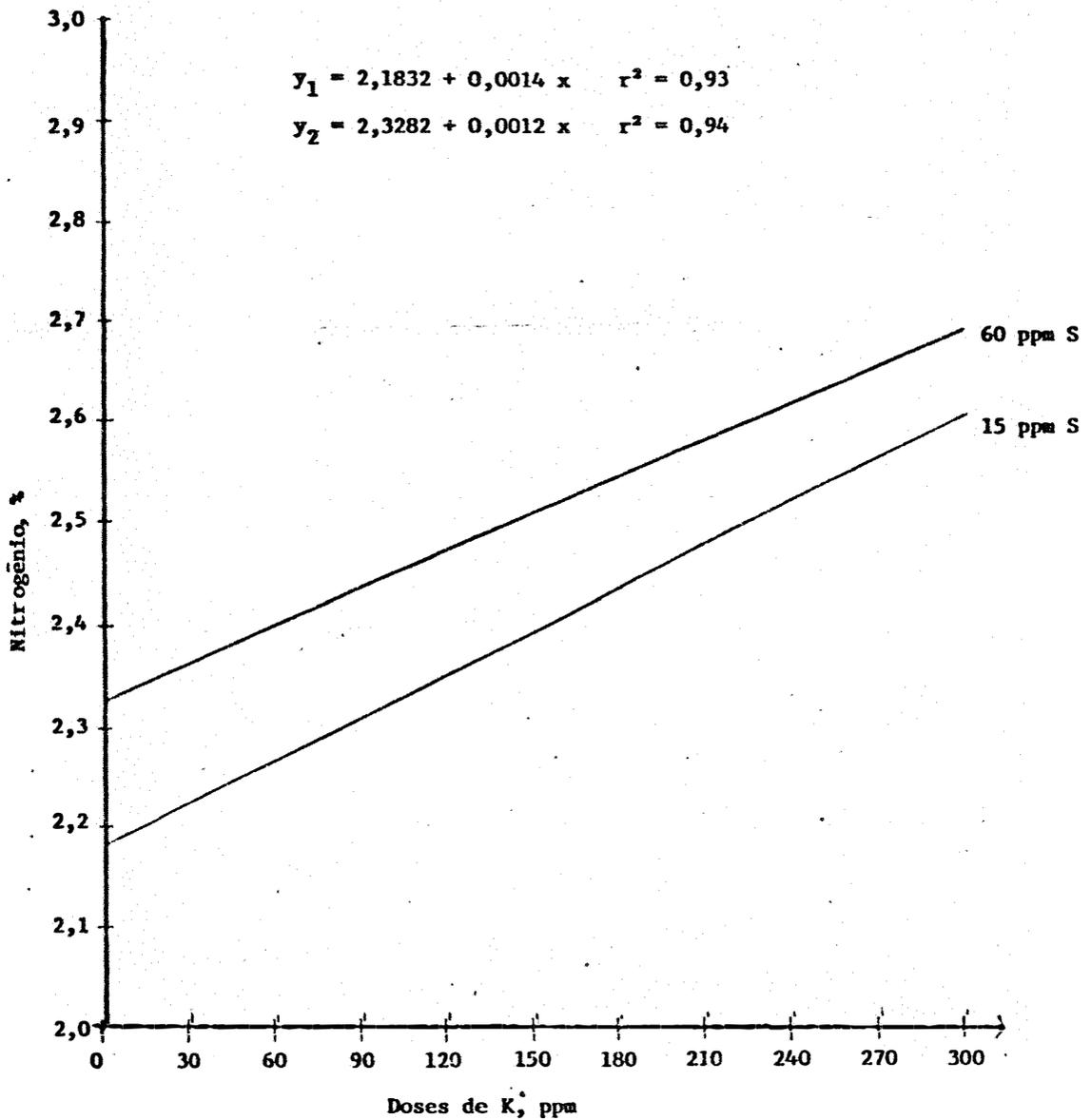


Figura 9 - Teor de nitrogênio na parte aérea da alfafa no primeiro corte, em função da aplicação de potássio no solo com 15 e 60 ppm de S adicionados.

tas se encontra na fração proteica (MENGEL & KIRKBY, 1987). Os resultados apresentados reforçam a conclusão de BAILEY (1983), na qual aplicações de fertilizantes potássicos em taxas que favoreçam a absorção de luxo podem ser benéficas devido aumentar a concentração de N na forragem.

Menor fixação do N_2 na alfafa em condições de deficiência de K foi também relatada por GIROUX & BORDELEAU (1984). Além da ação exercida por este nutriente sobre o desenvolvimento geral da planta (VANCE et alii, 1988), a maior taxa de fixação em solos bem supridos com K pode ser resultado do maior transporte de assimilados para os nódulos radiculares (BARTA, 1982). Estes efeitos são importantes especialmente após o corte quando níveis adequados de K estimulam a rebrota, aumentando assim o potencial para fixar mais N_2 (LANYON & GRIFFITH, 1988).

À exceção do primeiro corte, o enxofre aumentou expressivamente a concentração e o conteúdo de N nas plantas (Figura 10), manifestando claramente sua ação positiva sobre a fixação do nitrogênio, conforme já demonstrado por diversos pesquisadores (BORDELEAU et alii, 1981; DeBOER & DUKE, 1982; LOPEZ-JURADO & HANNAWAY, 1985 e COLLIN et alii, 1986). Deve ser ressaltado que o S também auxilia na conversão do N não proteico em proteína (VITTI et alii, 1988). A inexistência de resposta no primeiro corte indica que o teor nativo de S foi suficiente para garantir o processo de fixação simbiótica. De uma forma geral, doses entre 15 e 30 ppm de S propiciaram resultados mais adequados. Embora tal fato não te-

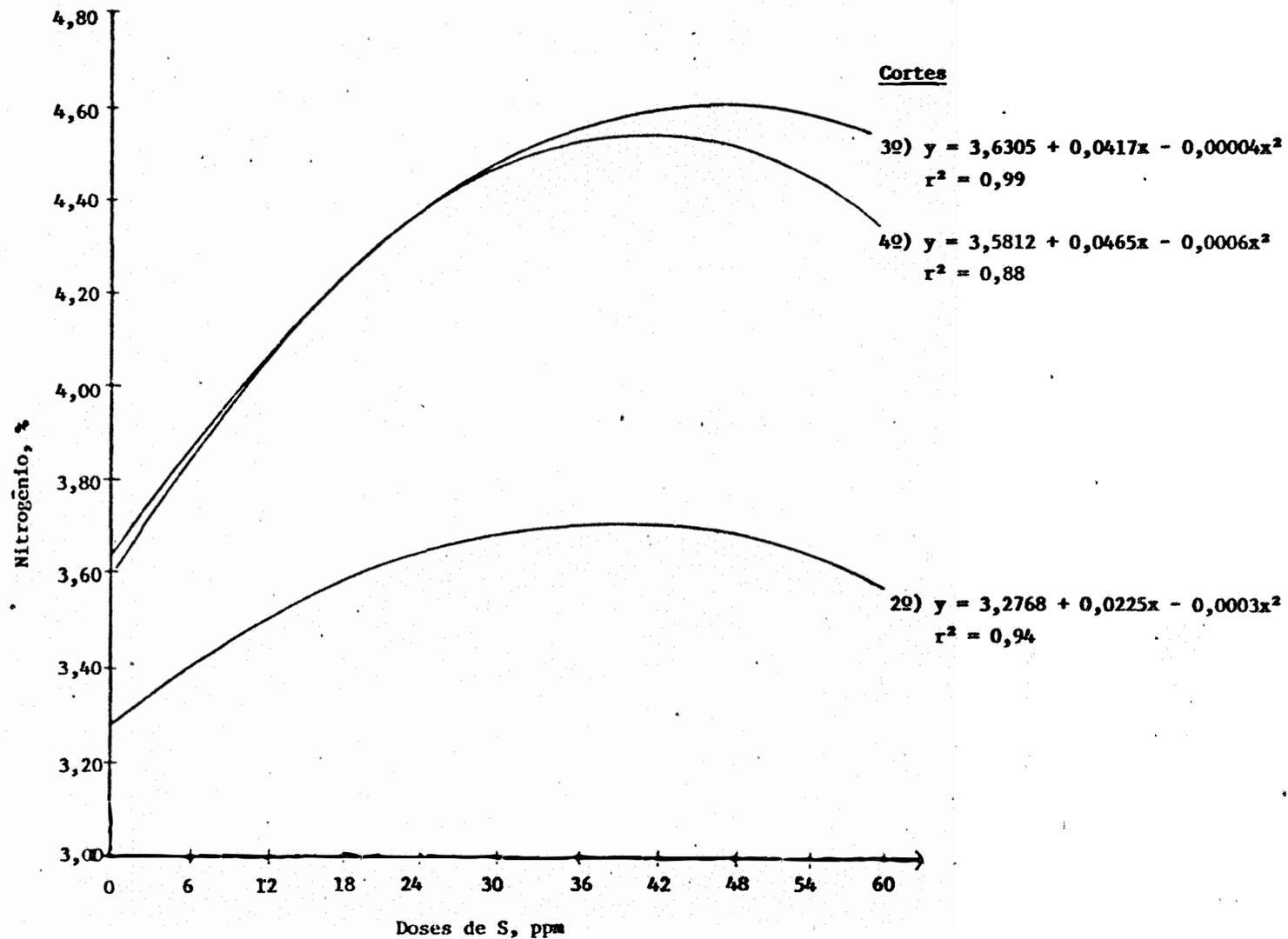


Figura 10 - Concentração de nitrogênio na parte aérea da alfafa nos três últimos cortes, em função de doses de enxofre.

nha ocorrido neste trabalho, é interessante considerar a possibilidade citada por LOCKYER & COWLING (1981) de que a falta de enxofre acarretando redução na eficiência da fixação do N_2 poderia resultar na deficiência dos dois nutrientes.

A aplicação de potássio diminuiu significativamente a concentração de Ca e Mg nas plantas nos dois níveis de pH testados (Tabelas 51 e 52 e Figuras 11 e 12), refletindo uma competição catiônica na absorção. Considerando a média de todos os cortes, o fornecimento de 300 ppm de K no nível pH_1 reduziu os teores de Ca e Mg em 21% e 38%, respectivamente. No nível pH_2 a queda foi de 25% e 59%, respectivamente, sendo que neste caso o efeito de diluição deve ter contribuído para acentuar a diferença. Este efeito antagônico também foi demonstrado em pesquisas com alfafa e explicados com base no princípio da "constância catiônica" (MARKUS & BEATTLE, 1965) ou "equivalência catiônica" (GERWIG & AHLGREN, 1958), ou seja, o incremento na absorção de potássio causa uma redução mais ou menos correspondente na absorção de outros cátions, no caso Ca e Mg. Esta competição pode eventualmente ser benéfica, conforme demonstrou BARBARICK (1985) trabalhando com adubação potássica em alfafa. Em solos com altos teores de K e Na, a aplicação do primeiro resulta numa supressão da absorção do segundo, prevenindo sua ação tóxica.

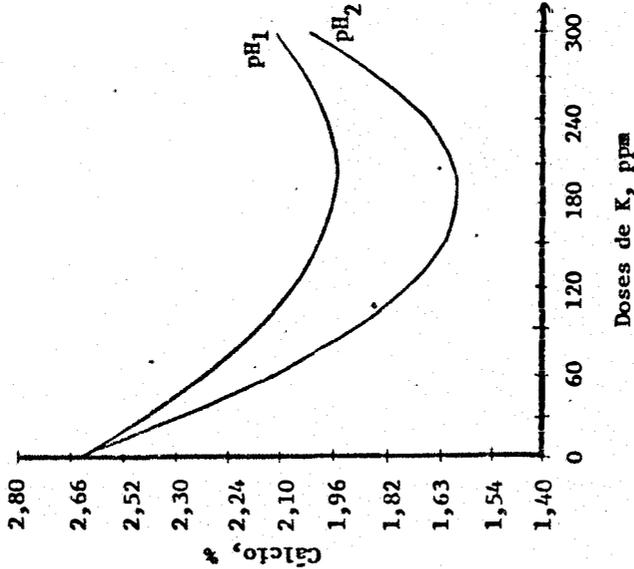
(a)

$$y(pH_1) = 2,6458 - 0,0069x + 0,000016x^2$$

$$r^2 = 0,87$$

$$y(pH_2) = 2,6773 - 0,1122x + 0,000030x^2$$

$$r^2 = 0,99$$



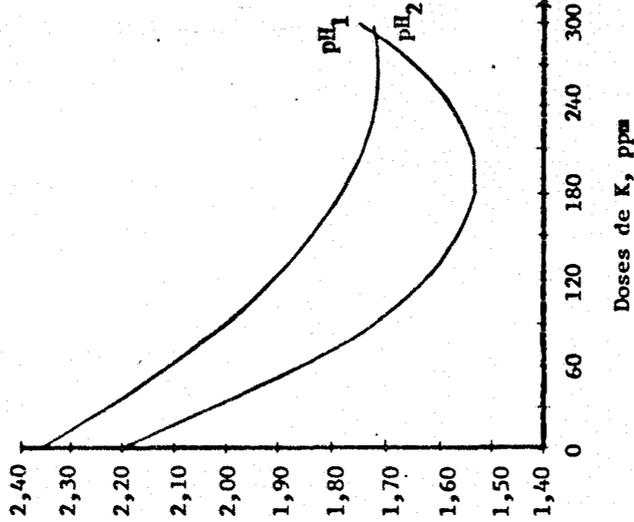
(b)

$$y(pH_1) = 2,2264 - 0,0073x + 0,000019x^2$$

$$r^2 = 1,0$$

$$y(pH_2) = 2,3600 - 0,0048x + 0,000009x^2$$

$$r^2 = 0,99$$



(c)

$$y(pH_1) = 2,4532 - 0,0086x + 0,00002x^2$$

$$r^2 = 0,87$$

$$y(pH_2) = 2,8198 - 0,0032x$$

$$r^2 = 0,99$$

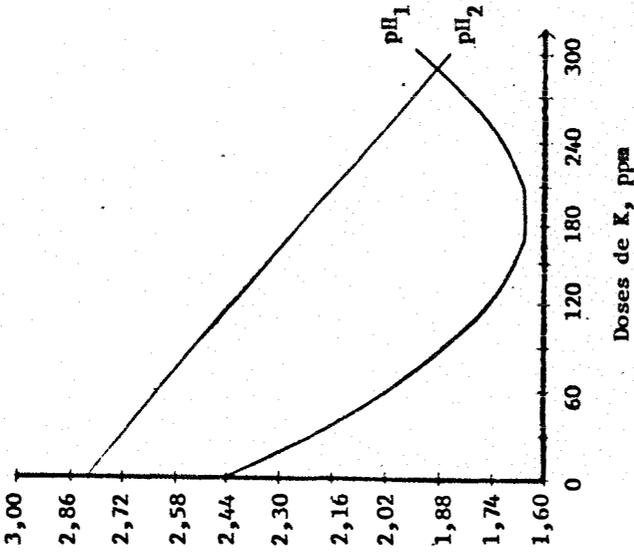


Figura 11 - Teor de Ca na parte aérea da alfafa no primeiro (a), segundo (b) e terceiro (c) cortes, em função de potássio aplicado no solo em dois níveis de pH.

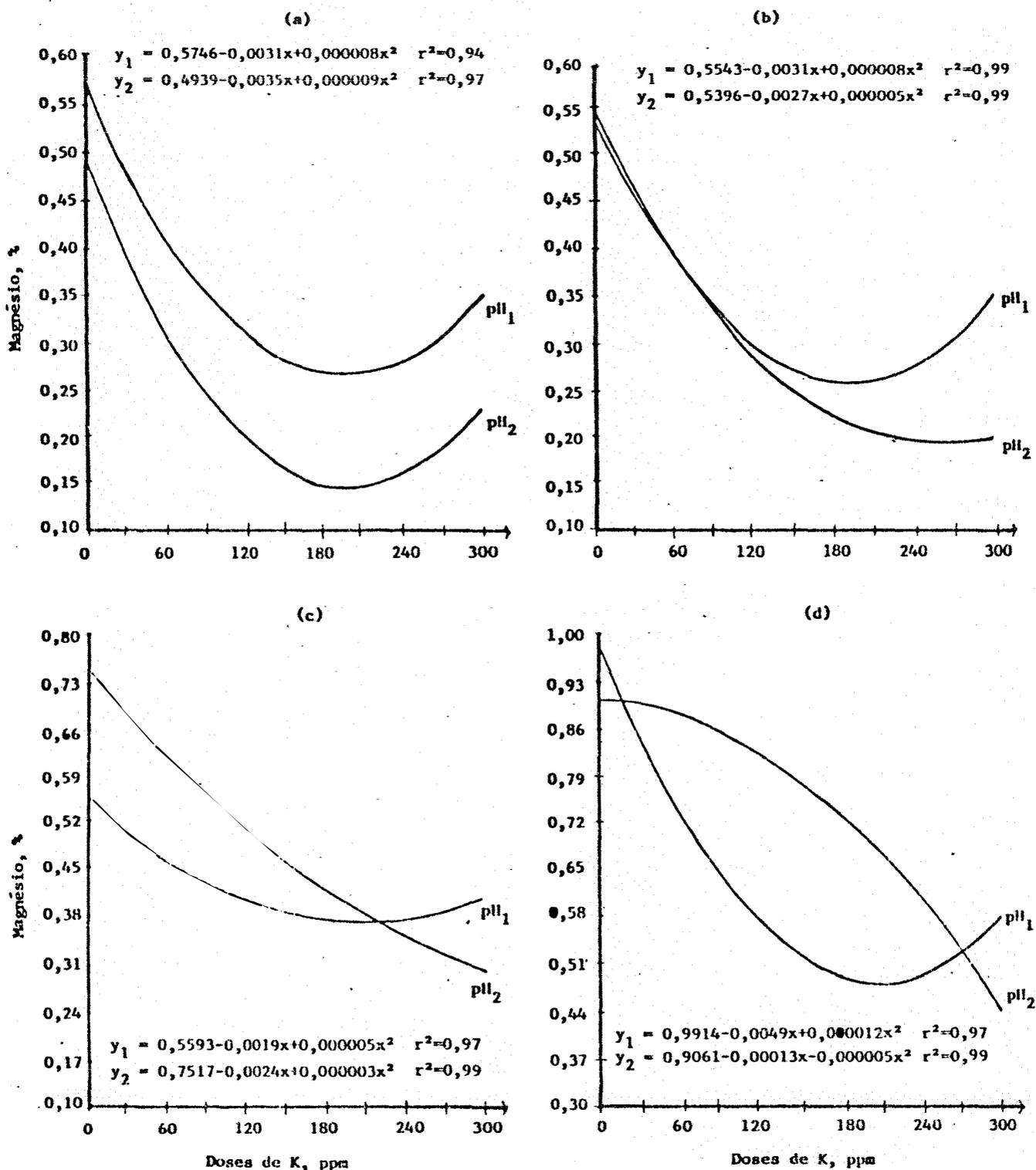


Figura 12 - Teor de magnésio na parte aérea da alfafa no primeiro (a), segundo (b), terceiro (c) e quarto (d) cortes, em função de doses de potássio aplicadas nos solos com alta (pH_1) e baixa (pH_2) acidez.

5.1. Níveis críticos de potássio e enxofre na planta

Considerando que o estabelecimento do nível crítico na planta só pode ser feito quando não existir nenhum outro fator limitante que não o nutriente em estudo (ULRICH, s.d.), a presente discussão foi dirigida somente para os resultados obtidos nos tratamentos submetidos ao nível pH_2 . Por este mesmo motivo e por não ter existido efeito de trimental das maiores doses de K e S aplicadas, o nível crítico de potássio em cada corte foi determinado dentro da dose 60 ppm de S. Inversamente o nível crítico de enxofre foi calculado dentro da dose 300 ppm de K.

Uma vez que o nível crítico do nutriente na planta corresponde àquela concentração associada com 90% da produtividade máxima, este não foi definido no primeiro corte por não ter ocorrido diferenças significativas no rendimento de massa seca. Para os cortes subsequentes, utilizando-se a dose de K e S aplicadas que resultaram em 90% da produção máxima, determinou-se o nível crítico dos dois nutrientes a partir da concentração existente na metade superior e na planta toda. Os níveis críticos registrados encontram-se na Tabela 56.

Para o potássio, os níveis críticos na planta toda se encontram na faixa sugerida por ANDREW & ROBINS (1969) e MEYER & MARTINS (s.d.). Porém quando se considera os ní-

Tabela 56 - Níveis críticos de potássio e enxofre na alfafa, determinados a partir da massa seca da metade superior e da planta toda, em 3 cortes.

Elementos	Cortes	Nível crítico	
		Planta toda	Metade superior
		----- (%) -----	
Potássio	2º	1,33	1,44
	3º	1,35	1,68
	4º	1,02	n.r. ¹
Enxofre	2º	0,26	0,30
	3º	0,38	0,41
	4º	0,36	n.r. ¹

¹Não registrado por insuficiência de massa seca para análise.

veis críticos na metade superior eles estão abaixo daqueles citados por LANYON & GRIFFITH (1988), que é de 2,5%. Observa-se na Tabela 43 que a concentração de potássio na massa seca da planta toda, obtida no primeiro corte nos tratamentos sem potássio (K_1) e com 30 ppm de K (K_2), está abaixo daquela definida como nível crítico nos cortes subsequentes, sem contudo estar associada com menor produção. Como as produções de massa seca dos 1º e 2º cortes mantiveram-se razoavelmente

semelhantes (nas doses não limitantes de K e S), a maior concentração registrada no segundo corte não se deve a um efeito de concentração resultante de qualquer alteração ambiental restritiva ao desenvolvimento vegetal. Sugere-se que a principal causa deste comportamento esteja ligada às diferentes idades fisiológicas por ocasião dos cortes. O primeiro foi realizado quando as plantas se apresentavam completamente floridas, com várias delas inclusive mostrando desenvolvimento inicial das vagens. Nos cortes posteriores as plantas apresentavam-se no estágio inicial de florescimento (aproximadamente 10%), ou seja, em idade fisiológica diferente daquela registrada por ocasião do 1º corte. Uma vez que do período de botão floral até o florescimento pleno a % de K nos tecidos pode ser reduzida em 30% (KIMBROUGH et alii, 1971), na presente pesquisa é possível que esta queda tenha sido ainda maior, já que o avanço da maturidade até o momento do 1º corte foi um pouco além do florescimento pleno.

Em relação ao enxofre, no segundo corte o nível crítico de 0,26% na planta toda, está próximo daqueles obtidos por VARKAS & HRUSOULES (1984), REHM (1987) e PUMPHREY & MOORE (1965), que esteve entre 0,20 a 0,23%. Porém os níveis críticos obtidos no terceiro e quarto cortes se elevaram consideravelmente, atingindo valores bastante superiores àqueles normalmente registrados na literatura. Contudo SORENSEN et alii (1968) obtiveram níveis críticos de 0,31%, 0,40% e 0,48% S nos três primeiros cortes, valores

estes justificados pelos autores como sendo consequência de um menor crescimento das plantas devido ao déficit hídrico no período experimental. No presente trabalho as plantas mostraram uma queda no desenvolvimento e produção ao longo dos cortes, possivelmente devido a diminuição da temperatura, podendo assim interferir nas relações entre o teor do elemento na planta e o seu máximo desenvolvimento. As concentrações críticas na metade superior da planta de 0,30% e 0,41% S nos segundo e terceiro cortes se encontram dentro da faixa adequada indicada por LANYON & GRIFFITH (1988), que é de 0,30 e 0,50%.

A Figura 13 exprime o grau de associação entre a concentração de K e S nas plantas com a produção. A magnitude dos valores de r^2 entre as variáveis foram similares, sugerindo que a técnica de amostragem da massa vegetal existente nos 15 a 20 cm superiores da planta é um procedimento que oferece eficiência comparada àquela normalmente utilizada, que é a de se coletar toda a planta.

Com os valores de concentração de nitrogênio e enxofre nas plantas, determinou-se a relação N/S para os diferentes cortes, os quais foram correlacionados com a produção. Todos os cálculos foram realizados com os valores obtidos dentro do nível K_4 . Os resultados estão ilustrados na Figura 14 e mostram uma interação linear negativa entre a relação N/S e a produção. Segundo as equações de regressão definidas, as relações N/S críticas (aquela associada com

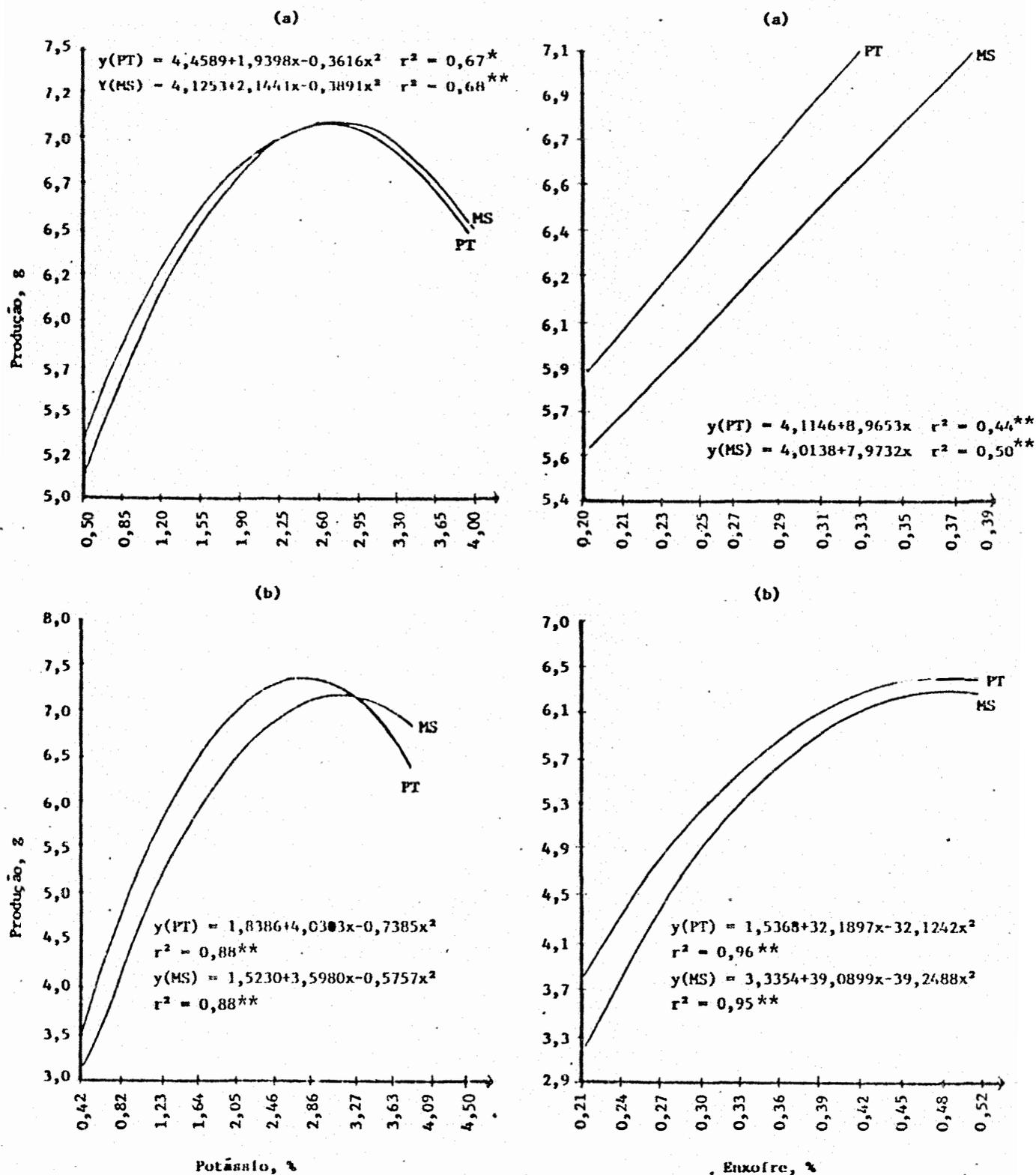


Figura 13 - Correlações obtidas entre produção de matéria seca e a concentração de potássio e enxofre em toda a parte aérea da planta (PT) e só na metade superior (MS) no segundo (a) e terceiro (b) cortes.

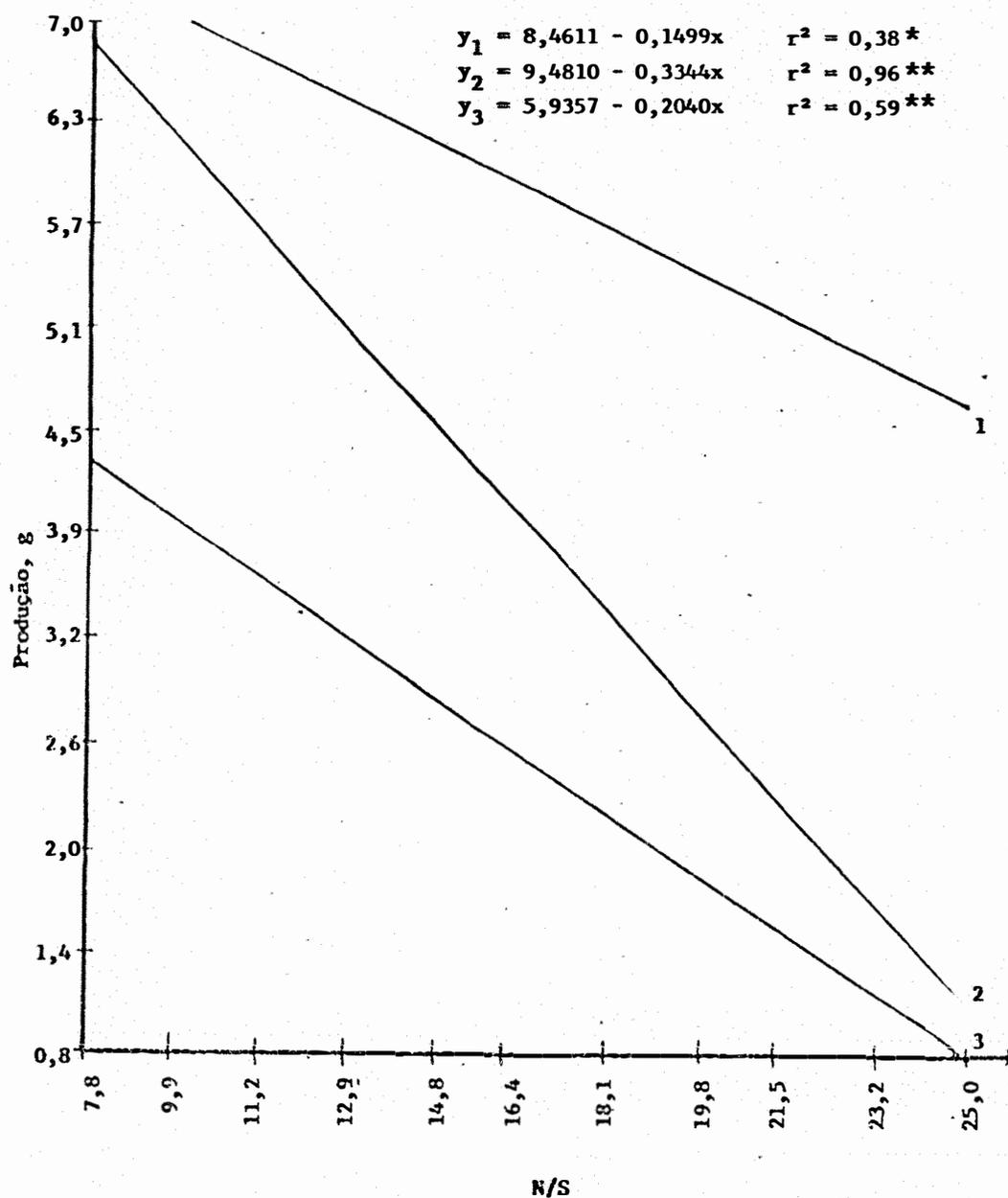


Figura 14 - Relação N/S e produção de massa seca de alfafa no segundo (1), terceiro (2) e quarto (3) cortes.

90% da produção máxima) foram de 14/1, 10/1 e 9/1 nos segundo, terceiro e quarto cortes. Relações superiores a esta indicam portanto deficiência de enxofre. Citação de LOCKYER & COWLING (1981) e PUMPHREY & MOORE (1965) mostram que relação N/S superior a 11/1 pode ser considerada crítica, porém relações um pouco maiores podem ser admitidas, conforme demonstrado por vários pesquisadores (WESTERMANN, 1975; BANSAL & SINGH, 1981; NUTTAL, 1985 e BAILEY, 1986).

5.2. Alterações no pH e teores de potássio e enxofre do solo após o último corte da alfafa

Os resultados das análises químicas do solo efetuadas após o quarto corte encontram-se na Tabela 57. O pH (água e cloreto de cálcio) caiu em média 0,46 unidades no solo com baixa acidez contra 0,25 unidades no solo com alta acidez. Uma vez que o efluxo de prótons das raízes de alfafa para a solução do solo depende da quantidade de N fixado (LIU et alii, 1990), justifica-se a maior redução no solo onde a fixação do N_2 se processou mais intensamente. Em outros sistemas simbióticos como *Trifolium subterraneum* x *Rhizobium trifolii* queda de 0,5 unidades de pH em 65 dias de cultivo foi registrada por JARVIS & ROBSON (1983a).

Como era de se esperar, nos tratamentos que propiciaram aumentos na produção de massa seca, o grau de esgotamento de K e S foi maior. No nível pH_1 teores de po-

Tabela 57 - Valores médios de pH, potássio e enxofre determinados no solo ao término do experimento.

Tratamentos	Valores observados no solo			
	pH ¹	Potássio ²	Enxofre ²	
-----Níveis-----	-- Água : CaCl ₂ --	--emg/100 ml solo--	---ppm---	
pH ₁	K ₁	S ₁	0,04	4
		S ₂	0,03	6
		S ₃	0,04	18
		S ₄	0,04	39
	K ₂	S ₁	0,05	4
		S ₂	0,04	10
		S ₃	0,05	20
		S ₄	0,05	39
			5,17 : 4,83	
	K ₃	S ₁	0,06	3
		S ₂	0,09	11
		S ₃	0,14	23
S ₄		0,14	46	
K ₄	S ₁	0,42	3	
	S ₂	0,48	11	
	S ₃	0,52	27	
	S ₄	0,50	51	
pH ₂	K ₁	S ₁	0,05	4
		S ₂	0,04	4
		S ₃	0,06	4
		S ₄	0,04	3
	K ₂	S ₁	0,04	4
		S ₂	0,05	4
		S ₃	0,05	3
		S ₄	0,04	5
			6,37 : 6,04	
	K ₃	S ₁	0,05	5
		S ₂	0,05	4
		S ₃	0,05	3
S ₄		0,05	4	
K ₄	S ₁	0,16	5	
	S ₂	0,10	3	
	S ₃	0,10	4	
	S ₄	0,10	7	

¹ Médias, para cada nível, de 48 vasos.

² Médias, para cada nível, de 3 vasos.

tássio no solo superiores àqueles observados na testemunha, no início do experimento (0,10 emg), só foram registrados nos tratamentos que envolveram doses de 100 e 300 ppm de K. No nível pH₂ somente quando aplicou-se 300 ppm de K, na ausência de enxofre (K₄S₁), detectou-se média superior a 0,16 emg de K, resultado do baixo rendimento de matéria seca no período. Em bora o aproveitamento do K não trocável na maioria dos solos brasileiros seja considerado por RAIJ (1991) como inexpressivo, o mesmo autor fornece evidências que esta contribuição existe e que pode ser de importância considerável em alguns casos. Na Tabela 58 são apresentados, como exemplo, resultados obtidos em quatro tratamentos que demonstram o aproveitamento desta fração de K do solo. O maior índice de utilização de formas de potássio não trocável aconteceu nos solos com um ambiente edáfico favorável ao desenvolvimento das plantas. Por outro lado, quando a planta teve seu crescimento limitado e o nível inicial de K trocável era alto, praticamente não existiu contribuição de formas não trocáveis.

Igualmente com o enxofre, os menores valores finais no solo foram encontrados nos tratamentos submetidos ao nível pH₂. Considerando que a probabilidade da deficiência de enxofre para a alfafa é alta naqueles solos com teores inferiores a 6 ppm S-SO₄, extraídos com solução de fosfato de cálcio em ácido acético (NASCIMENTO & MORELLI, 1980), e que os limites entre as classes de interpretação de S-SO₄ no solo quando se usa como extrator solução de acetato de amô-

nio em ácido acético são praticamente o dobro do que as sugeridas para o primeiro extrator (VITTI, 1989), conclui-se que em praticamente todos os tratamentos desenvolvidos no solo pouco ácido já estava ocorrendo falta de enxofre.

Tabela 58 - Teores inicial e final de potássio trocável no solo após quatro cortes da alfafa e quantidade de K absorvido e translocado para a parte aérea.

Tratamentos	K trocável		K absorvido	Diminuição de K no solo	Relação absorção/diminuição
	Inicial	Final			
----- mg K/vaso -----					
$pH_1K_1S_1$	100	40	75	60	1,25
$pH_2K_1S_1$	100	50	95	50	1,90
$pH_1K_4S_3$	650	520	139	130	1,06
$pH_2K_4S_3$	650	100	763	550	1,39

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no presente trabalho, permitiram as seguintes conclusões:

a) A elevação do pH em água de 5,42 para 6,84 aumentou a altura de plantas, o número de perfilhos, o diâmetro e o peso de massa seca de raízes, a produção de massa seca do primeiro, segundo, terceiro e quarto cortes, bem como a produção total. No pH 5,42 a absorção de nitrogênio foi reduzida e a concentração de manganês aumentou. Neste caso, a aplicação de cloreto de potássio incrementou significativamente o teor de Mn na massa seca. Em nenhum momento a aplicação de potássio e enxofre anulou os efeitos nocivos relacionados com o baixo pH.

b) A aplicação de K e S no solo com pH 6,8 proporcionou maior crescimento e perfilhamento das plantas e aumentou o desenvolvimento do sistema radicular. A produção de massa aumentou no segundo, terceiro e quarto cortes devido a aplicação destes nutrientes, aumentando, conseqüentemente, a produção total.

c) A aplicação de K e S aumentou a concentração de nitrogênio na massa seca da parte aérea da alfafa.

d) Os níveis críticos de K variaram entre 1,02% a 1,35% (planta toda) e 1,44% e 1,68% (metade superior das plantas), enquanto que, para o enxofre, variaram entre 0,26% a 0,38% (planta toda) e 0,30% a 0,41% (metade superior das plantas).

e) As concentrações de K e S na massa seca da metade superior da parte aérea das plantas e na massa seca de toda a parte aérea, mostraram-se altamente correlacionadas com a produção, indicando que qualquer uma das partes amostradas foi adequada para avaliar o estado nutricional desta leguminosa, pertinente a estes dois nutrientes.

f) A relação N : S compatível com 90% da máxima produção variou de 9,5:1 a 14:1, e correlacionou-se significativamente com a produção.

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.161-206.
- ALVA, A.K.; ASHER, C.J.; EDWARDS, D.G. The role of calcium in alleviating aluminium toxicity. Australian Journal of Agricultural Research, Victoria, 37:375-382, 1986.
- ALVAREZ, V.H. Enxofre: critérios de diagnose para solo e planta, correção de deficiências e excessos. In: BORKERT, C.M. & LANTMANN, A.F. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. EMBRAPA-COPSo/IAPAR/SBCS, 1988. cap.2, p.31-60.
- ANDREW, C.S. Problems in the use of chemical analyses for diagnosis of plant nutrient deficiencies. Journal of Australian Institute of Agricultural Science, Sidney, 34:154-162, 1968.

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, Victória, 20:687-696, 1969.

ANDREW, C.S. & HUTTON, E.M. Effect of pH and calcium on the growth of tropical pasture legumes. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 12, Moscou, 1974. Proceedings. s. n.t. p.23-28.

ANDREW, C.S. & ROBINS, M.F. The effect of potassium on the growth and chemical composition of some tropical and temperate pasture legumes. I. Growth and critical percentages of potassium. Australian Journal of Agricultural Research, Victória, 20:999-1007, 1969.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 49: 316, 1989.

ATTOE, O.J. & TRUOG, E. Correlation of yield and quality of alfalfa and clover hay with levels of available phosphorus and potassium. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 14:249-253, 1949.

BAILEY, L.D. Effects of potassium fertilizer and fall harvest on alfalfa grown on the eastern Canadian prairies. Canadian J. Soil Sci., Ottawa, 63(2):211-219, 1983.

BAILEY, L.D. The sulphur status of eastern Canadian prairie soils: sulphur response and requirements of alfalfa (*Medicago sativa* L.), rape (*Brassica napus* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.). Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 66:209-216, may, 1986.

BALIGAR, V.C.; WRIGHT, R.J.; BENNETT, O.L.; HERN, J.L.; PERRY, H.D.; SMEDLEY, M.D. Lime effect on forage legume growth and mineral composition in an acid subsoil. Commun. in Soil Science and Plant Analysis, New York, 16(10):1079-1093, 1985.

BANSAL, K.N. & SINGH, D. Nitrogen-sulphur ratio for diagnosing sulphur status of alfalfa. Journal of the Indian Society of Soil Science, Gwalior, 27(4):452-456, 1979. Apud. Herbage Abstract, Farhan Royal, 51(1):36, 1981. (Resumo).

BARBARICK, K.A. Potassium fertilization on alfalfa grown on a soil high in potassium. Agronomy Journal, New Jersey, 77:442-445, 1985.

- BARNEY, P.E. & BUSH, L.P. Sulfate absorption in three forage species. Agronomy Abstracts, Lexington, 79, 1981. Apud. Herbage Abstract, Farhan Royal, 52(7):337, 1982. (Resumo).
- BARNES, D.K.; GOPLEN, B.P.; BAYLOR, J.E. Highlights in the USA and Canada. In: HANSON, A.A., ed. Alfalfa and alfalfa improvement. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1988. cap.1, p.1-24.
- BARTA, A.L. Response of symbionte N₂ fixation and assimilate partitioning to K supply in alfalfa. Crop Science, Madison, 22(1):89-92, 1982.
- BATAGLIA, O.C. Micronutrientes: disponibilidade e interações. In: BORKERT, C.M. & LANTMANN, A.F., ed. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. cap.6, p.121-132.
- BATES, T.E. Factors affecting critical nutrient concentrations in plants and their evaluation: a review. Soil Science, Baltimore, 112(2):116-130, 1971.
- BEATON, J.D. & WAGNER, R.E. Sulphur - a vital component of maximum economic yield systems. Sulphur in Agriculture, Washington, 9:2-7, 1985.

- BEYENE, D. Physiology and persistence of alfalfa with changes in soil chemistry. Dissertation Abstracts International, Colorado, 43(6):1690-B, 1982. (Resumo).
- BICKOFF, E.M.; KOHLER, G.O.; SMITH, D. Chemical composition of herbage. In: HANSON, C.H., ed. Alfalfa science and technology. Madison, American Society of Agronomy, 1972. cap.12, p.247-282.
- BISSANI, C.A. & TEDESCO, M.J. O enxofre no solo. In: BORKERT, C.M. & LANTMANN, A.F., ed. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, EMBRAPA-CNPSo /IAPAR/SBCS, 1988. cap.1, p.11-30.
- BOLAN, N.S.; SYERS, J.K.; TILLMAN, R.W. Effect of pH on the adsorption of phosphate and potassium in batch and in column experiments. Australian Journal of Soil Research, Vict6ria, 26:165-170, 1988.
- BOLTON, J.L.; GOPLEN, B.P.; BAENZIGER, H. World distribution and historical developments. In: HANSON, C.H. ed., Alfalfa science and technology. Madison, American Society of Agronomy, 1972. cap.1, p.143-166.

BORDELAU, L.M.; GIROUX, M.; OUELLET, R.; ANTOUN, H. Effect du soufre et de l'azote sur la fixation symbiotique d'azote chez les plantules de luzerne (*Medicago sativa* L.). Canadian Journal of Plant Science, Ontario, 61(3):639 - 645, 1981.

BROOKS, C.O.; BOUTON, J.H.; SUMNER, M.E. Alfalfa, *Medicago sativa* L., in highly weathered, acid soils. III. The effects of seedling selection in an acid soil on alfalfa growth at varying level of phosphorus and lime. Plant and Soil, The Hague, 65:27-33, 1982.

BROWN, R.H. & ASHLEY, D.A. Fertilizer effects on photosynthesis, organic reserves and regrowth mechanisms of forages. In: MAYS, D.A., ed. Forage fertilization. Madison, American Society of Agronomy, 1974. cap.20, p. 455-479.

BROWN, R.H.; PEARCE, R.B.; WOLF, D.D.; BLASER, R.E. Energy accumulation and utilization. In: HANSON, C.H., ed. Alfalfa science and technology. Madison, American Society of Agronomy, 1972. cap.7, p.143-166.

BRUCE, R.C.; WARRELL, L.A.; EDWARDS, D.G.; BELL, L.C. Effects of aluminium and calcium in the soil solution of acid soils on root elongation of *Glycine max* cv. Forreste. Australian Journal of Agricultural Research, Vitória, 38:319-330, 1988.

BUCHHOLZS, D.D. & WHITNEY, D.A. Responsiveness of Kansas soil series to sulfur application under greenhouse conditions. Commun. in Soil Sci. Plant Anal., New York, 16(8):865-881, 1985.

BURTON, J.C. Nodulation and symbiotic nitrogen fixation. In: HANSON, C.H., ed. Alfalfa science and technology. Madison, American Society of Agronomy, 1972. cap.11, p. 229-246.

CALVET, J.L.R. Estudo do enxofre em diversos solos da região de Piracicaba-SP e avaliação de métodos de extração do enxofre disponível usando ³⁵S. Piracicaba, 1986. 102p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

CAMARGO, C.E. de O. Melhoramento do trigo. III. Evidência de controle genético na tolerância ao manganês e alumínio tóxico ao trigo. Bragantia, Campinas, 42(9) : 91-103, 1983.

CAMARGO, O.A. Micronutrientes no solo. In: BORKERT, C. M. & LANTMANN, A.F., ed. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, EMBRAPA-CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. cap.5, p.103-120.

CARVALHO, M.M.; SARAIVA, O.F.; VERNEQUE, R.S. Níveis críticos externos e internos de fósforo de duas leguminosas tropicais em um solo ácido. Revista da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 13(3):303-310, 1989.

CENSO AGROPECUÁRIO - Paraná - 1970, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 3: 500, 1975.

CENSO AGROPECUÁRIO - Paraná - 1975, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 1: 840, 1979.

CENSO AGROPECUÁRIO - Paraná - 1980, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2 (20):926-30, 1983.

CENSO AGROPECUÁRIO - Brasil - 1980, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Rio de Janeiro, 2 (1):415, 1984.

CHAO, T.T.; HARWARD, M.E.; FANG, S.C. Soil constituents and properties in the adsorption of sulfate ions. Soil Science, Baltimore, 94(5):276-283, 1962.

CHOE, Z.R.; KIM, J.K.; KIM, S.H. Effects of lime and seed treatments on the nodulation of lucerne (*Medicago sativa* L.) in an acid soil. Journal of Gyeongsang National University, Natural Sciences, Jinju, 18:71-75, 1978. Apud. Herbage Abstracts, Farhan Royal, 51(6):338, 1981. (Resumo).

COLLINS, M.; LANG, D.J.; KELLING, K.A. Effects of phosphorus, potassium and sulfur on alfalfa nitrogen - fixation under field conditions. Agronomy Journal, New Jersey, 78:959-963, 1986.

COOPER, R.B.; BLASER, R.E.; BROWN, R.H. Potassium effects on net photosynthesis and morphology of alfalfa. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 31:231-235, 1967.

CRISTIAN, R.R. Effects of the environment on the growth of alfalfa. Advances in Agronomy, New York, 29:183-227, 1977.

- DeBOER, D.L. & DUKE, S.H. Effects of sulphur nutrition on nitrogen and carbon metabolism in lucerne (*Medicago sativa* L.). Physiologia Plantarum, Copenhagen, 54(3): 343-350, 1982.
- DESSUREAUX, L. Effect of aluminium on alfalfa seedlings. Plant and Soil, The Hague, 30(1):93-98, 1969.
- DESSUREAUX, L. & OUELLETTE, G.L. Tolerance of alfalfa to manganese toxicity in sand culture. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 38:8-13, 1958.
- DIONNE, J.L. & PESANT, A.R. Effects des doses de manganese, d'aluminium, des regimes hydriques et du pH des sols sur les rendements de luzerne et sur l'assimilabilite du manganese et de l'aluminium. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 65:269-282, 1985.
- DOUGLAS, J.A. The production and utilization of lucerne in New Zealand. Grass and Forage Science, Oxford, 41:128, 1986.
- DRAKE, M. & STEWART, E.H. Alfalfa fertility investigations in South Carolina. Soil Science, Baltimore, 69:459-69, 1950.

- ECKERT, D.J. & McLEAN, E.O. Basic cation saturation ratios as a basis for fertilizing and limings agronomic crops. I. Growth chamber studies. Agronomy Journal, New Jersey, 73(5):795-799, 1981.
- ELKINS, D.M. & ENSMINGER, L.E. Effect of soil pH on the availability of adsorbed sulfate. Proc. of Soil Science Society of America, Madison, 35(6):931-934, 1971.
- ENSMINGER, L.E. Some factors affecting the adsorption of sulfate by Alabama soils. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 18(3):259-264, 1954.
- FAGÉRIA, N.K. Tolerância diferencial de cultivares de arroz ao alumínio em solução nutritiva. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(1):1-9, 1982.
- FEIGENBAUM, S. & MENGEL, K. The effect of reduced light intensity and sub-optimal potassium supply on N₂ fixation and N turnover in rhizobium infected lucerne. Physiol. Plant., Copenhagen, 45:245-249, 1979.
- FISCHER, R.A. Stomatal opening: role of potassium uptake by guard cells. Science, Washington, 160:784-785, 1968.

- FREITAS, L.M.M. & PRATT, P.F. Resposta de três leguminosas a calcário em diversos solos ácidos de São Paulo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 4:89-95, 1969.
- FRIED, M. & BROESHART, H. The soil-plant system in relation to inorganic nutrition. New York, Academic Press, 1967. 358p.
- FURLANI, P.R. & HANNA, L.G. Avaliação da tolerância de plantas de arroz e milho ao alumínio em solução nutritiva. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 8(2):205-208, 1984.
- GERWIG, J.L. & AHLGREN, G.H. The effect of different fertility levels on yield, persistence, and chemical composition of alfalfa. Agronomy Journal, New Jersey, 50:291-294, 1958.
- GHALAIE, K.R. Effect of potassium, sulfur, boron, and molybdenum fertilization on alfalfa production and herbage composition. Dissertation Abstracts International, Colorado, 46(6):1754-B, 1985. (Resumo).

- GIROUX, M. & BORDELEAU, L. Effect du potassium et du magnésium sur la croissance et la nodulation de plantules de luzerne (*Medicago sativa* L.). Naturaliste Canadien, Sainte-Foy, 111(2):167-173, 1984.
- GRAVEN, E.H.; ATTOE, O.J.; SMITH, D. Effect of liming and flooding on manganese toxicity in alfalfa. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 29:702-706, 1965.
- GRIFFITH, W.K. Satisfying the nutritional requirements of established legumes. In: MAYS, D.A., ed. Forage Fertilization. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1974. p.147-169.
- GROVE JR., A.R. & CARLSON, G.E. Morphology and anatomy. In: HANSON, C.H. ed. Alfalfa science and technology. Madison, ASA, 1972. cap.5, p.103-122.
- GUPTA, U.C. & MacLEOD, J.A. Effect of various sources of sulfur on yield and sulfur concentration of cereals and forages. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 64:403-409, aug., 1984.
- GUPTA, U.C. & WILLIS, C.B. Effects of soil fumigation and liming on yield and nutrient concentration of alfalfa and timothy. Canadian Journal of Plant Science, Ontario, 62(1):125-130, 1982.

HAAG, H.P. & HASS, F.J. Recrutamento de nutrientes por uma cultura de alfafa (*Medicago sativa* L.). O Solo, Piracicaba, 74(2):65-70, 1982.

HARTT, C.E. Effect of potassium deficiency up translocation of ^{14}C in attached blades and entire plants of sugarcane. Plant Physiology, Urbana, 44(7):1461-1469, 1969.

HARWARD, M.E. & REISENAVER, H.M. Reactions and movement of inorganic soil sulphur. Soil Science, Baltimore, 101(4):326-335, 1966.

HEICHEL, G.H.; BARNES, D.K.; VANCE, C.P.; HENJUM, K.I. N_2 fixation, and N and dry matter partitioning during a 4-year alfalfa stand. Crop Science, Madison, 24(4): 811-815, 1984.

HEICHEL, G.H.; DELANEY, R.H.; CRALLE, H.T. Carbon assimilation, partitioning, and utilization. In: HANSON, A.A., ed. Alfalfa and alfalfa improvement. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1988. cap.6, p.195-228.

HODGKINSON, K.C. Physiological aspects of the regeneration of lucerne. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 11, Surfers Paradise, Univ. Queensland Press, 1970. Proceedings. Surfers Paradise, Univ. Queensland Press, 1970. p.559-562.

- HODGKINSON, K.C. Establishment and growth of shoots following low and high cutting of lucerne in relation to the pattern of nutrient uptake. Australian Journal of Agricultural Research, Victória, 24:497-510. 1973.
- HOEFT, R.G. et alii. Evaluation of various extractants for available soil sulfur. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., Madison, 37(3):401-404, 1973.
- HOWIESON, J.G. & EWING, M.A. Acid tolerance in the *Rhizobium meliloti* - *Medicago* symbiosis. Australian Journal of Agricultural Research, Victória, 37:55-64, 1986.
- JACKSON, W.A. Physiological effects of soil acidity. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F., ed. Soil acidity and liming. Madison, American Society of Agronomy, 1967. cap.2, p. 43-124.
- 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. Proc. Soil Sci. Soc. Am., Madison, 30(1):70-73, 1966.
- JANGHORBANI, M.; ROBERTS, S.; JACKSON, T.L. Relationship of exchangeable acidity to yield and chemical composition of alfalfa. Agronomy Journal, New Jersey, 67:350-354, 1975.

- JARRELL, W.M. & BEVERLY, R.B. The dilution effect in plant nutrition studies. Advances in Agronomy, New York, 34:197-224, 1981.
- JARVIS, S.C. & ROBSON, A.D. The effects of nitrogen nutrition of plants on the development of acidity in western australian soils. I. Effects with subterranean clover grown under leaching conditons. Australian Journal of Agricultural Research, Victória, 34:341-352, 1983a.
- JARVIS, S.C. & ROBSON, A.D. The effects of nitrogen nutrition of plants on the development of acidity in western australian soils. II. Effects of differences in cation/anion balance between plant species grown under non-leaching conditions. Australian Journal of Agricultural Research, Victória, 34:355-365, 1983b.
- JO, J.; YOSHIDA, S. & KAYAMA, R. Acidity tolerance and symbiotic nitrogen fixation capacity of some varieties of alfalfa. Journal of Japanese Society of Grassland Science, Tohgo, 26(2):174-178, 1980. Apud. Herbage Abstract, Farhan Royal, 51(8):428, 1981. (Resumo).
- JOHN, M.; CASE, V.W.; VANLAERHOVEN, C. Liming of alfalfa (*Medicago sativa* L.). I. Effect on plant growth and soil properties. Plant and Soil, The Hague, 37:353-361, 1972.

JOHNSTON, A.E.; GOULDING, R.W.T. The use of plant and soil analyses to predict the potassium supplying capacity of soil. In: COLLOQUIUM OF THE INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE, 22nd, Soligorsk, 1990. Development of K - fertilizer recommendations. Bern, International Potash Institute, 1990. p.177-204.

JONES, E. 12 tons/A non-irrigated alfalfa - breaking a yield barrier. Better Crops With Plant Foods, Atlanta, 72(3):7, 1988.

JONES, M.B. & QUAGLIATO, J.C. Respostas de quatro leguminosas tropicais e da alfafa a vários níveis de enxofre. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 5:359-363, 1970.

JONES, M.B.; QUAGLIATO, J.C.; FREITAS, L.M.M. Respostas de alfafa e algumas leguminosas tropicais a aplicações de nutrientes minerais em três solos de campo cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 5:209-214, 1970.

JUNG, J.A. & SMITH, D. Influence of soil potassium and phosphorus content on the cold resistance of alfalfa. Agronomy Journal, New Jersey, 51:585-587, 1959.

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. Trace elements in soils and plants. 3.ed. Boca Raton, CRC Press, 1985. 315p.

KELLING, K.A. & ERICKSON, T. Efectos que ejerce la fertilización con P, K y S sobre la favorable sementera de la alfafa, la supervivencia invernal de las plantas y el rendimiento. Agronomy Abstracts, 1981. Apud. Revista de la Potassa, Berna, 16(4):3-4, 1984. (Resumo).

KELLING, K.A.; GRAU, C.R.; WOLKOWISKI, R.P. Influência que exercen los iones P, K e S sobre la severidad com que se manifiesta la podredumbre de la raiz de la alfalfa provocada por phytophthora em condiciones de campo. Agronomy Abstracts, 1982. Apud. Revista de la Potassa, Berna, 16(4):2, 1984. (Resumo).

KIMBROUGH, E.L.; BLASER, R.E.; WOLF, D.D. Potassium effects on regrowth of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Agronomy Journal, New Jersey, 63:836-839, 1971.

KOLLING, J. & SCHOLLES, D. Peletização e inoculação convencional de alfafa em diferentes níveis de calcário. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, 16(2):313-321, 1980.

KORNELIUS, E. Influência da calagem e da adubação fosfata da e potássica na produção de alfafa (*Medicago sativa* L.) em seis solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1972. 126p. (Mestrado - Faculdade de Agronomia/UFRGS).

LANYON, L.E. & GRIFFITH, W.K. Nutrition and fertilizer use. In: HANSON, A.A., ed. Alfalfa and alfalfa improvement. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1988. cap.10, p. 333-372.

LANYON, L.E.; BAYLOR, J.E.; WATERS, W.K. Understanding alfalfa nutrient uptake. Better Crops With Plant Food, Atlanta, 67:12-14, 1983.

LAWTON, K. & TESAR, M.B. Yield, potassium content and root distribution of alfalfa and bromegrass grown under three levels of applied potash in the greenhouse. Agronomy Journal, New Jersey, 50:148-151, 1958.

LEACH, G.J. The ecology of lucerne pastures. In: WILSON, J.R. ed. Plant relations in pastures. Melbourne, CSIRO, 1978.

LEACH, G.L. & CLEMENTS, R.J. Ecology and grazing management of alfalfa pastures in the subtropics. Advances in Agronomy, New York, 37:127-154, 1985.

LEIGH, R.A. & JONES, R.G.W. Critical potassium concentrations for growth and the distribution and functions of potassium in plant cells. Journal of the Science of Food and Agriculture, Harpenden, 35(3):292, 1984. Apud Herbage Abstracts, Farhan Royal, 54(7):268, 1984. (Resumo).

LIU, W.C.; LUND, L.J.; PAGE, A.L. Acidity produced by leguminous plants through symbiotic dinitrogen fixation. Journal of Environmental Quality, Riverside, 18(4):529 - 534, 1989. Apud. Herbage Abstract, Farhan Royal, 60(8):343, 1990. (Resumo).

LOCKYER, D.R. & COWLING, D.W. Growth of lucerne (Medicago sativa L.) exposed to sulphur dioxide. Journal of Experimental Botany, London, 32(131):1333-1341, 1981.

LOPEZ-JURADO, G. Effect of sulfur on dinitrogen fixation of alfalfa (Medicago sativa L.). Dissertation Abstracts International, Colorado, 46(1):5-B, 1985. (Resumo).

LOPEZ-JURADO, G. & HANNAWAY, D.B. Sulfur nutrition effects on dinitrogen fixation of seedling alfalfa. Journal of Plant Nutrition, Corvallis, 8(12):1101-1121, 1985. Apud. Herbage Abstract, Farhan Royal, 56(10):499, 1986. (Resumo).

LOPES, E.S.; NORRIS, D.O.; WEBER, D.F. Estudo sobre a influência de nitratos do solo e modo de inoculação das sementes na nodulação em alfafa (*Medicago sativa* L.).

Bragantia, Campinas, 27(21):239-248, 1968.

MacLEOD, L.B. Effect of nitrogen and potassium fertilization on the yield, regrowth, and carbohydrate content of the storage organs of alfalfa and grasses. Agronomy Journal, New Jersey, 57:345-350, 1965a.

MacLEOD, L.B. Effect of nitrogen and potassium on the yield and chemical composition of alfalfa, bromegrass, orchardgrass, and timothy grown as pure species. Agronomy Journal, New Jersey, 57:261-266, 1965b.

MacLEOD, C.C. Influence of stage of growth at cutting on lucerne production. New Zealand Journal of Experimental Agriculture, Wellington, 6(4):285-288, out., 1978.

MAHLER, R.L. Influence of pH and N and P nutrition of alfalfa grown on an andic mission silt loam. Agronomy Journal, New Jersey, 75(5):731-735, 1983.

MAHONEY, G.P.; JONES, H.R.; HUNTER, J.M. Effect of lime on lucerne in relation to soil acidity factors. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 14, Lexington, 1981. Proceedings. s.n.t. p.229-302.

MALAVOLTA, E. Reação do solo e crescimento das plantas.
In: MALAVOLTA, E., Coord. Seminário sobre corretivos agrícolas. Campinas, Fundação Cargill, 1985. cap. 1, p.3-66.

MALAVOLTA, E. & MALAVOLTA, M.L. Diagnose foliar - princípios e aplicações. In: BÜLL, L.T. & ROSOLEM, C.A. Coord. Simpósio sobre interpretação de análise química de solo e planta para fins de adubação. Botucatu, FCA/UNESP, 1988.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. de. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.

MARKUS, D.K. & BATTLE, W.R. Soil and plant responses to long-term fertilization of alfalfa (*Medicago sativa* L.). Agronomy Journal, New Jersey, 57:613-616, 1965.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Orlando, Academic Press, 1986. 674p.

McLEAN, E.O.; HARTWIG, R.C.; ECKERT, D.J.; TRIPLETT, G. B.
Basic cation saturation ratios as a basis for fertilizing
and liming agronomic crops. II. Field studies. Agronomy
Journal, New Jersey, 75(4):635-639, 1983.

McKENZIE, J.S.; PAQUIN, R.; DUKE, S.H. Cold and heat to-
lerance. In: HANSON, A.A., ed. Alfalfa and alfalfa
improvement. Madison, ASA/CSSA/SSSA, 1988. cap.8, p.
259-302.

MENGEL, K. & KIRKBY, E.A. Principles of plant nutrition.
4.ed. Bern, International Potash Institute, 1987. 687p.

MENGEL, K. & STEFFENS, D. Relacion entre la absorción ca-
tión/anión y la liberación de protones por las raíces
del trébol rojo. Z. Pflanzenernähr, Bodenkd, 145(3):
229-236, 1982. Apud. Revista de la Potasa, Berna, 16
(4):1, 1984. (Resumo).

MEYER, R.D. & MARTIN, W.E. Plant analyses as a guide for
fertilization of alfalfa. In: REISENAUER, H.M., ed.
Soil and plant tissue testing in California. Riverside,
University of California, Division of Agricultural Scien-
ces, s.d. p.32-33. (Bulletin, 1879).

MONTEIRO, A.L.G. Estudos morfológicos e fisiológicos da rebrota de cultivares não dormentes de alfafa (CUF-101 e Crioula) a partir do manejo de área foliar de perfilhos basilares. Piracicaba, 1989. 139p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

MOSCHLER, W.W.; JONES; G.D.; THOMAS, G.W. Lime and soil acidity effects on alfalfa growth in red-yellow podzolic soil. Soil Science Society of America Proceedings, Madison, 24(6):507-509, 1960.

MUNIZ, A.S.; NOVAES, R.F.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L. Nível crítico de fósforo na parte aérea da soja como variável do fator capacidade de fósforo do solo. Revista da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 9(3):237-243, 1985.

MURPHY, W.M.; ROMERO, Y.O.; BARBER, L.E. Alfalfa yield on an andosol in southern Chile: effects of timing and rate of liming and lime-pelleting of seed. Turrialba, Costa Rica, 33(4):393-397, 1983.

MUZILLI, O., Coord. Análise de solos: interpretação e recomendação de calagem e adubação para o Estado do Paraná. Londrina, IAPAR, 1978. 49p. (Circular, 9).

- NASCIMENTO, J.A.L. do & MORELLI, M. Enxofre em solos do Rio Grande do Sul. II - Disponibilidade. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 4(3):135-138, 1980.
- NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.L.; BARROS, N.F.; SEDIYAMA, T. Deficiência de manganês em plantas de soja cultivadas em solo de cerrado. Rev. Bras. Ci. Solo, Campinas, 13(2):99-204, 1989.
- NUERNBERG, N.J. Técnicas de produção de alfafa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PASTAGENS'86 & SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 8. Piracicaba, 1986. Anais. Piracicaba, FEALQ, 1986. p.145-190.
- NUTTALL, W.F. Effect of N, P and S fertilizers on alfalfa grown on three soil types in northeastern Saskatchewan . II. Nitrogen, P and S uptake and concentration in herbage. Agronomy Journal, New Jersey, 77(2):224-228, 1985.
- 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).

- OUELLETTE, G.J. & DESSUREAUX, L. Chemical composition of alfalfa as related to degree of tolerance to manganese and aluminium. Canadian Journal of Plant Science, Ontário, 38:206-214, 1958.
- PARFITT, R.L. Chemical properties of variable charge soils. In: THENG, B.K.G., ed. Soils with variable charge. Lower Hutt, New Zealand Society of Soil Science, 1980. cap. 10, p.167-194.
- PAVAN, M.A. O cálcio como nutriente para as culturas. In: SILVA, M. de C., Coord. SEMINÁRIO FÓSFORO, CÁLCIO, MAGNÉSIO, ENXOFRE E MICRONUTRIENTES - SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS NA AGRICULTURA, São Paulo, 1984. Anais. São Paulo, MANAH S/A, 1986. p.82-97.
- PECK, N.H. Alfalfa response to concentrated superphosphate (CSP) and potassium chloride (KCl). Better Crops With Plant Food, Atlanta, 54(1):10-12, 1970.
- PEDROZO, D.J.; VALÉRIO, M.A.; PEDROSO, R. Beneficiamento e comercialização de alfafa no Município de Bandeirantes -PR. Bandeirantes, SEIC/FFALM, 1987. 36p.

PEOPLES, J.R. The role of potassium in carbon-dioxide metabolism, growth and yield of alfalfa. Dissertation Abstracts International, Durhan, 39(7):3080-3081, 1979. Apud. Herbage Abstracts, Farhan Royal, 52(1):34, 1982. (Resumo).

PETKOV, V. Potassium uptake by lucerne plants grown for fodder. Rasteniev" dni Nauki, Pleven, 18(3):89-92, 1981.

PINKERTON, A. & SIMPSON, J.R. Effects of subsoil acidity on the shoot and root growth of some tropical and temperate forage legumes. Aust. Journal of Agric. Research, Victória, 32:453-463, 1981.

POHLMAN, G.G. Effect of liming different soil layers on yield of alfalfa and on root development and nodulation. Soil Science, Baltimore, 62:255-266, 1946.

PONS, A.L. Efeito residual da calagem e da adubação fosfatada na produção de alfafa (*Medicago sativa* L.) num Latossolo Bruno distrófico do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1974. 75p. (Mestrado - Faculdade de Agronomia/UFRGS).

PONTAILLER, S. Luzerne et potassium. Cultivar, Lille, 128:36-37, 1980.

POTAFOS, Piracicaba. Potássio: necessidade e uso na agricultura moderna. Piracicaba, 1990. 45p.

POTASH INSTITUTE. Remember the plant food content of your crops. Better Crops With Plant Food, Atlanta, 56(1): 1-20, 1972.

PUMPHREY, F.V. & MOORE, D.P. Diagnosing sulfur deficiency of alfalfa (*Medicago sativa* L.) from plant analysis. Agronomy Journal, New Jersey, 57:364-366, 1965.

QUAGGIO, J.A. Critérios para calagem em solos do estado de São Paulo. Piracicaba, 1983. 76p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

QUAGGIO, J.A.; DECHEN, A.R.; RAIJ, B. Van. Efeitos da aplicação de calcário e gesso sobre a produção de amendoim e lixiviação de bases no solo. Revista de Ciência do Solo, Campinas, 6(3):189-194, 1982.

RAIJ, B. van. Fertilidade do solo e adubação. São Paulo, Ceres, 1991. 343p.

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.

REHCIGL, J.E. Alfalfa growth on acid soil as influenced by Al, Ca, pH and Mo. Dissertation Abstracts International, Colorado, 47(11):4354-B, 1987.

REHCIGL, J.E.; EDMISTEN, K.L.; WOLF, D.D.; RENEAU JR., R. B. Influence of calcium, nitrogen and pH on alfalfa root growth and nitrogen fixation using the implanted soil mass technique. Agronomy Journal, New Jersey, 79(5):926-928, 1987.

REHCIGL, J.E.; EDMISTEN, K.L.; WOLF, D.D.; RENEAU JR., R. B. Response of alfalfa grown on acid soil to different chemical amendments. Agronomy Journal, New Jersey, 80(3):515-518, 1988.

REHM, G.W. Application of phosphorus and sulfur on irrigated alfalfa. Agronomy Journal, New Jersey, 79(6):973-979, 1987.

RHYKERD, C.L. & OVERDAHL, C.J. Nutrition and fertilizer use. In: HANSON, C.H., ed. Alfalfa science and technology. Madison, American Society of Agronomy, 1972. cap.20, p.437-468.

RICE, W.A. Performance of *Rhizobium meliloti* strains selected for low - pH tolerance. Canadian Journal of Plant Science, Ontário, 62(4):941-948, 1982.

RITCHEY, K.D. O potássio nos oxissolos e ultissolos dos trópicos úmidos. Piracicaba, POTAFOS, 1982. 69p. (Bol. Téc., 7).

ROMERO, N.A.; SHEAFFER, C.C.; MALZER, G.L. Potassium response of alfalfa in solution, sand, and soil culture. Agronomy Journal, New Jersey, 73(1):25-28, 1981.

SAIBRO, J.C. de. Produção de alfafa no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 7, Piracicaba, 1984. Anais. Piracicaba, FEALQ, 1984. p.61-106.

SANDERS, L., Coord. Potassium for agriculture. Atlanta, Potash and Phosphate Institute, 1988. 39p.

- SCOTT, T.W. & ERICKSON, A.E. Effect of aeration and mechanical impedance on the root development of alfalfa, sugar beet and tomatoes. Agronomy Journal, New Jersey, 56:575-576, 1964.
- SEAY, W.A.; ATTOE, O.J.; TRUOG, E. Correlation of the potassium content of alfalfa with that available in soils. Soil Sci. Soc. Am. Proc., Madison, 14:245-249, 1949.
- SHEARD, R.W. Maintaining potassium soil test level is key in intensive management of alfalfa. Better Crops With Plant Food, Atlanta, 72(3):8-9, 1988.
- SILVA, F.C.M. da. Mineralogia e gênese de uma sequência de solos no município de Bandeirantes-PR. Lavras, 1985. 130p. (Mestrado - Escola superior de Agricultura de Lavras).
- SIMPSON, J.R.; PINKERTON, A.; LAEDOVSKIS, J. Interacting effects of subsoil acidity and water on the root behaviour and shoot growth of some genotypes of lucerne (Medicago sativa L.). Aust. Journal of Agric. Research, Victória, 30:609-619, 1979.
- SIQUEIRA, O.J.F. de, Coord. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo, EMBRAPA-CNPT, 1987. 100p.

- SMITH, D. Influence of temperature on the yield and chemical composition of 'Vernal' alfalfa at first flower. Agronomy Journal, New Jersey, 61(6):470-473, 1969.
- SMITH, D. Yield and chemical composition of leaves and stems of alfalfa at intervals up the shoots. Journal Agr. Food. Chemistry, Washington, 18(4):652-656, 1970.
- SMITH, D. Levels and sources of potassium for alfalfa as influenced by temperature. Agronomy Journal, New Jersey, 63(3):497-500, 1971.
- SMITH, D. Cutting schedules and maintaining pure stands. In: HANSON, C.H., ed. Alfalfa science and technology. Madison, American Society of Agronomy, 1972. cap.22, p. 481-496.
- SMITH, G.S.; EDMEADES, D.C.; UPSDELL, M. Manganese status of New Zealand pastures. 1. Toxicity in ryegrass, white clover and lucerne. New Zealand Journal of Agricultural Research, Wellington, 26(2):215-221, 1983.
- SORENSEN, R.C.; PENAS, E.J.; ALEXANDER, U.U. Sulfur content and yield of alfalfa in relation to plant nitrogen and sulfur fertilization. Agronomy Journal, New Jersey, 60:20-23, 1968.

- SUMNER, M.E.; SHAHANDEH, H.; BOUTON, J.; HAMMEL, J. Ame-
lioration of an acid soil profile through deep liming
and surface application of gypsum. Soil Science So-
ciety of America Journal, Madison, 50(5):1254-1258,
1986.
- SUTTON, C.D. & HALLSWORTH, E.G. Studies on the nutrition
of forage legumes. Plant and Soil, The Hague, 9(4):
305-317, 1958.
- TESAR, M.B. Potassium builds alfalfa quality. Better
Crops With Plant Food, Atlanta, 52(1):6-7, 1968.
- TEUBER, L.R. & BRICK, M.A. Morphology and anatomy. In:
HANSON, A.A. ed. Alfalfa and alfalfa improvement. Ma-
dison, ASA/CSSA/SSSA, 1988. cap.4, p.125-162.
- THOMPSON, C.R.; DODDS, D.L.; HOAG, B.K. Potash and phos-
phate increase yield and profite from irrigated alfal-
fa. Better Crops With Plant Food, Atlanta, 70:6-7,
1986.
- TINDALL, T.A. & BOND, L. Alfalfa response to potash and
phosphate on irrigated western soils. Better Crops With
Plant Food, Atlanta, 74(3):10-11, 1990.

- TISDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. Soil fertility and fertilizers. New York, MacMillan, 1985. 754p.
- ULRICH, A. Plant tissue analysis as a guide in fertilizing crops. In: REISENAUER, H.M., ed. Soil and plant tissue testing in California. Riverside, University of California, Division of Agricultural Sciences, s.d. p. 32-33. (Bulletin, 1879).
- VALADARES, J.M.A.S. & CAMARGO, O.A. Manganês em solos do estado de São Paulo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 7(2):123-130, 1983.
- VANCE, C.P.; HEICHEL, G.H.; PHILLIPS, D.A. Nodulation and symbiotic dinitrogen fixation. In: HANSON, A.A., ed. Alfalfa and alfalfa improvement. Madison, ASA / CSSA / SSSA, 1988. cap.7, p.229-258.
- VARKAS, T.D. & HRUSOULES, A.K. Effects of sulphur on the yield and elemental composition of lucerne (Medicago sativa L.). Geōrgikē Ereuna, Thessalonikē, 3(1):102-110, 1979. Apud. Herbage Abstract, Farhan Royal, 54(9):330, 1984. (Resumo).
- VITTI, G.C. Avaliação e interpretação do enxofre no solo e na planta. Jaboticabal, FUNEP/FCAV, 1989. 37p.

VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E.; FERREIRA, M.E. Respostas de culturas anuais e perenes à aplicação de enxofre. In: BORKERT, C.M. & LANTMANN, A.F., ed. Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, EMBRAPA -CNPSO/IAPAR/SBCS, 1988. cap.3, p.61-86.

VITTI, G.C. & NOVAES, N.J. Adubação com enxofre. In: SIMPÓSIO SOBRE CALAGEM E ADUBAÇÃO DE PASTAGENS. Nova Odessa, 1985. Anais. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1986. p. 191-231.

VOUGH, L.R. Fertilizing alfalfa for maximum economic yields. Better Crops With Plant Food, Atlanta, 70: 10-11, 1986.

WALLACE, A. Sequentially additive effects for K and P fertilizers on alfalfa grown in New Jersey. Journal of Plant Nutrition, New York, 13(3 e 4):367-73, 1990.

WASHKO, J.B. & PRICE, J.W. Intensive management of alfalfa for forage production. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 11, Surfers Paradise, 1970. Proceedings. Surfers Paradise, Univ. Queensland Press, 1970. p.628-633.

WELLS, B.R. & DART, B. Sulfur fertilization - an increasing need. Better Crops With Plant Food, Atlanta, 70 (Spring):15-17, 1986.

WESTERMANN, D.T. Indexes of sulfur deficiency in alfalfa. II. Plant analyses. Agronomy Journal, New Jersey, 67: 265-268, mar/apr., 1975.

WHITEHEAD, D.C.; GOULDEN, K.M.; HARTLEY, R.D. The distribution of nutrient elements in cell water and other fractions of the herbage of some grasses and legumes. Journal Sci. Food. Agric., London, 36(5):311-318, 1985.

WOLFFENBÜTTEL, R. & TEDESCO, M.J. Disponibilidade do enxofre para a alfafa em oito solos do Rio Grande do Sul e sua relação com parâmetros do solo. Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, 17(2):357-376, 1981.

WOODRUFF, C.M. Crop response to lime in the midwestern United States. In: PEARSON, R.W. & ADAMS, F., ed. Soil acidity and liming. Madison, American Society of Agronomy, 1967. cap.5, p.207-231.