

**SILÍCIO E FÓSFORO PARA ESTABELECIMENTO DO CAPIM-MARANDU  
NUM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO**

**SUZANA PEREIRA DE MELO**

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

**PIRACICABA**  
Estado de São Paulo – Brasil  
Abril – 2005

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**SILÍCIO E FÓSFORO PARA ESTABELECIMENTO DO CAPIM-MARANDU  
NUM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO**

**SUZANA PEREIRA DE MELO**

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. **FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO**

Tese apresentada à Escola Superior de  
Agricultura “Luiz de Queiroz”, 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  
Abril – 2005

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Melo, Suzana Pereira de

Silício e fósforo para estabelecimento do capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo / Suzana Pereira de Melo. - - Piracicaba, 2005.  
110 p. : il.

Tese (doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.  
Bibliografia.

1. Adubação 2. Capim-Marandu 3. Fósforo 4. Latossolo Vermelho-Amarelo 5. Silício  
I. Título

CDD 633.2

**“Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor”**

A Deus pela presença eterna ao meu lado

Aos meus amados pais José Magela e Teresinha

OFEREÇO

Aos meus irmãos, sobrinhos e cunhados  
pelo apoio e incentivo.

E a toda a minha família.

DEDICO

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por ter me concedido saúde e paz, e por estar sempre ao meu lado.

Aos meus queridos pais pelo ensinamento, pelo amor, incentivo e amizade.

Aos meus estimados irmãos, cunhados e sobrinhos pelo carinho, respeito e amor compartilhados.

Ao professor Francisco Antonio Monteiro, pela orientação na vida acadêmica, e pela amizade cultivada durante esses três anos.

Aos professores Antonio Roque Dechen e Quirino Augusto de Camargo Carmello da Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ/USP.

A todos os professores do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP, pelo apoio científico.

Ao professor Marcílio de Almeida, à pós-doutoranda Cristina de Almeida e à funcionária Kássia R. F. Figueiredo, pelos esclarecimentos nos estudos de anatomia vegetal.

Às funcionárias do Laboratório de Nutrição de Plantas da ESALQ/USP Edinéia Cristina Scervino Mondoni, Lúcia Helena Spessoto Pavan Forti, Lurdes Aparecida Dário de Gonzáles, Nivanda Maria de Moura Ruiz e Sueli Maria Amaral Campos Bovi, pelo auxílio na realização das análises químicas de plantas.

Aos funcionários do Laboratório de Solos da ESALQ/USP, em especial Luis Antonio Silva Júnior, pelo auxílio nas análises de solos.

Aos estagiários de Nutrição Mineral de Plantas da ESALQ/USP, em especial ao Daniel Manfredini, pela ajuda em várias etapas do desenvolvimento da tese.

Aos amigos Alessandra Aparecida Giacomini, João de Deus Gomes Santos Júnior, Gilmar Ribeiro Nachtigall, Valdomiro S. de Souza Júnior, pela amizade e pela convivência fraterna.

Aos colegas de pós-graduação, Cristiane Prezotto Silveira, Dylnei Consolmagno Neto, Edna Maria da Silva Bonfim, Gilberto Nava, Gildemberg Amorin Leal Júnior, Haroldo C. Hoogerheide, Jorge Henrique da Silva Santos, José Olímpio de Souza Júnior, Karina Batista, Lílian Pittol Firme, Mateus Figueiredo Santos, Simeire Aparecida Manarin e Tiago Ozório Ferreira.

À Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pela bolsa concedida e pelo apoio financeiro prestado para realização dessa tese.

## SUMÁRIO

	Página
RESUMO-----	ix
SUMMARY-----	xi
1 INTRODUÇÃO-----	1
2 REVISÃO DE LITERATURA-----	3
2.1 Comportamento do silício no solo-----	3
2.2 Comportamento do fósforo no solo-----	5
2.3 Interação entre silício e fósforo no solo-----	6
2.4 Silício nas plantas-----	7
2.5 Fósforo em plantas forrageiras-----	10
2.6 <i>Brachiaria brizantha</i> Stapf. cv. Marandu-----	11
2.7 Deposição de sílica em tecidos vegetais-----	12
3 MATERIAL E MÉTODOS-----	13
3.1 Escolha e caracterização do solo para a experimentação-----	13
3.1.1 Seleção de solos e coleta de amostras-----	13
3.1.2 Análise física dos solos-----	13

3.1.3 Análises mineralógicas dos solos-----	14
3.1.4 Fósforo remanescente no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico-----	14
3.1.5 Adsorção de fósforo no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico-----	15
3.2 Pré-teste de incubação-----	15
3.3 Experimento em casa-de-vegetação-----	16
3.3.1 Local, época e espécie forrageira-----	16
3.3.2 Instalação e condução do experimento-----	16
3.3.3 Determinações químicas nos solos-----	17
3.3.4 Produção de massa seca-----	18
3.3.5 Determinação da área foliar-----	18
3.3.6 Composição mineral da forrageira-----	18
3.3.7 Estudos anatômicos das folhas do capim-Marandu-----	18
3.3.8 Análises estatísticas-----	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO-----	21
4.1 Análises químicas e físicas dos oito solos-----	21
4.2 Análises mineralógicas dos oito solos-----	23
4.3 Fósforo remanescente-----	29
4.4 Adsorção de fósforo-----	29
4.5 Pré-teste de incubação-----	30
4.6 Experimento em casa-de-vegetação-----	33
4.6.1 Resultados da análise de solo-----	33
4.6.2 Produção de massa seca da forrageira-----	41

4.6.3 Número de perfilhos e folhas na forrageira-----	46
4.6.4 Área foliar da forrageira-----	50
4.6.5 Comprimento total e superfície total do sistema radicular-----	52
4.6.6 Concentração dos elementos na planta-----	53
4.6.6.1 Fósforo-----	53
4.6.6.2 Silício-----	64
4.6.6.3 Potássio-----	66
4.6.6.4 Cálcio-----	68
4.6.6.5 Magnésio-----	71
4.6.6.6 Enxofre-----	72
4.6.7 Acúmulo dos elementos na planta-----	74
4.6.7.1 Fósforo-----	74
4.6.7.2 Silício-----	76
4.6.7.3 Potássio-----	77
4.6.7.4 Magnésio-----	79
4.6.7.5 Enxofre-----	80
4.7 Avaliações histológicas-----	81
4.8 Considerações gerais-----	92
5 CONCLUSÕES-----	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS-----	95

## **SILÍCIO E FÓSFORO PARA ESTABELECIMENTO DO CAPIM-MARANDU NUM LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO**

Autor: SUZANA PEREIRA DE MELO

Orientador: Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

### **RESUMO**

Um dos maiores problemas no estabelecimento e na manutenção de pastagens nos solos brasileiros está na disponibilidade extremamente baixa de fósforo. Acrescente-se a isto a alta capacidade de adsorção do solo deste nutriente, em consequência da elevada acidez do solo e seus altos teores de óxidos de ferro e alumínio. A aplicação de silicatado pode alterar a disponibilidade de fósforo no solo para as culturas, pelo fato do ânion silicato ocupar os pontos de adsorção do ânion fosfato. Objetivou-se avaliar a alteração na disponibilidade de fósforo, através das aplicações de fosfato e silicato, para o estabelecimento do capim-Marandu (*Brachiaria brizantha*), influenciando no número de perfilhos, na área foliar, no crescimento das raízes e na produção de massa seca desta forrageira. Utilizou-se um fatorial 5x5 fracionado e as 13 combinações para silício e fósforo, em  $\text{mg dm}^{-3}$ , respectivamente, foram: 150 e 10; 150 e 170; 150 e 330; 225 e 90; 225 e 250; 300 e 10; 300 e 170; 300 e 330; 375 e 90; 375 e 250; 450 e 10; 450 e 170 e 450 e 330, as quais foram distribuídas segundo delineamento estatístico de blocos ao acaso, com quatro repetições. Dentre os oito solos escolhidos, as análises físicas, químicas e mineralógicas mostraram que o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico seria o mais responsivo para este estudo com a planta forrageira. O experimento foi instalado em casa-de-vegetação, utilizando esse Latossolo. A fonte de silício utilizada

foi a wollastonita, que tem de silício  $243\text{g kg}^{-1}$ . O capim-Marandu foi cultivado no período do verão e foram realizados dois cortes nas plantas. As doses do silicato e dos adubos fosfatados aplicados ao solo promoveram aumento nos valores de pH, na porcentagem de saturação por bases e no silício e fósforo disponível. Os resultados da forrageira mostraram interação significativa entre as doses de fósforo e de silício para a produção de massa seca, número de perfilhos e de folhas, área foliar, e concentração de fósforo nas lâminas de folhas maduras, no primeiro e segundo cortes do capim-Marandu. A concentração de fósforo nas lâminas recém-expandidas e a concentração média de fósforo na parte aérea do capim-Marandu apresentou significância para a interação entre as doses de fósforo e de silício apenas no segundo corte. A concentração média de silício na parte aérea foi influenciada pela combinação das doses de fósforo e de silício apenas no primeiro corte do capim-Marandu. Para o acúmulo de fósforo no capim a interação entre as doses de fósforo e de silício foi significativa em ambos os cortes, enquanto para o acúmulo de silício, potássio e enxofre tal interação somente foi significativa no primeiro corte. As avaliações histológicas das lâminas foliares do capim-Marandu evidenciaram a deposição de silício nas células da epiderme.

# **SILICON AND PHOSPHORUS FOR MARANDU GRASS ESTABLISHMENT TO A TYPIC HAPLUSTOX**

Author: SUZANA PEREIRA DE MELO

Adviser: Prof. Dr. FRANCISCO ANTONIO MONTEIRO

## **SUMMARY**

One of the biggest problems for pasture establishment and maintenance in Brazilian soils is in the extremely low availability of phosphorus. Adding to this is the high soil adsorption capacity of this nutrient, as a consequence of high soil acidity and its high iron and aluminum concentrations. Silicate application can change phosphorus availability in the soil for the crops. The objective of this study was to evaluate the change in phosphorus availability, through the phosphate and silicate applications, for Marandu grass (*Brachiaria brizantha* cv. Marandu) establishment, by influencing the number of tillers, the leaf area, the roots growth and dry matter production of this forage. A fractionated 5x5 factorial was used, and the 13 combinations between silicon and phosphorus, in  $\text{mg dm}^{-3}$ , respectively, were: 150 and 10; 150 and 170; 150 and 330; 225 and 90; 225 and 250; 300 and 10; 300 and 170; 300 and 330; 375 and 90; 375 and 250; 450 and 10; 450 and 170, and 450 and 330. The experimental units were set in randomized blocks design, with four replications. Among the chosen eight soils, physical, chemical and mineralogical analysis showed that the Typic Haplustox should be the most responsive for this study with the forage. The experiment was set in a greenhouse with this Oxisol. Wollastonite, which contains  $243 \text{ g kg}^{-1}$  silicon, was used as silicon source. Marandu grass was grown during the Summer season and two harvests

were accomplished in the plants. Silicate and phosphate rates applied to the soil resulted in increases of soil pH, base saturation percentage, and silicon and phosphorus availability. Plant results showed significant interaction between phosphorus and silicon rates in dry matter production, number of both tillers and leaves, leaf area and phosphorus concentrations in the laminae of mature leaves, at the first and second harvests of Marandu grass. Phosphorus concentrations in the laminae of recently expanded leaves and in plant tops as average showed significant interaction between phosphorus and silicon rates, at the second harvest of the grass only. The average silicon concentration in plant tops was influenced by phosphorus and silicon combinations only at the first harvest of Marandu grass. The interaction between phosphorus and silicon rates was significant for phosphorus content in the grass in both harvests, whereas such interaction was only significant for the contents of silicon, potassium and sulphur in the first harvest. Histological studies made evident that silicon was deposited in cells epidermis of the Marandu grass leaf laminae.

## 1 INTRODUÇÃO

Apesar do silício ser um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre e presente em consideráveis quantidades na maioria dos solos, o cultivo consecutivo pode diminuir a concentração de silício no solo, até o ponto em que o fornecimento do elemento venha influenciar a produção vegetal. Compostos contendo o elemento silício acumulam-se nos tecidos de todas as plantas e representam, na massa seca, entre 1 e 100 g kg<sup>-1</sup>. Embora tenha essa ordem de concentração nos tecidos vegetais, esse elemento não é conceituado como essencial para a maioria das plantas. Entretanto, mesmo não sendo essencial para o crescimento e o desenvolvimento das plantas, a sua presença no tecido vegetal tem resultado em benefícios aos vegetais. É reconhecido que este elemento influencia a resistência a ataques de insetos, de nematóides e microorganismos, contribui para o estado nutricional, a transpiração e, possivelmente, em alguns aspectos da eficiência fotossintética das plantas.

Nas décadas recentes, mais de 70 milhões de hectares de vegetação nativa no Brasil foram substituídos por pastagens de gramíneas. A substituição foi realizada, basicamente, por aquelas forrageiras de origem africana que demonstraram alta adaptabilidade e resistência a solos de baixa fertilidade e a épocas de intenso déficit hídrico. O acúmulo de silício pelas forrageiras talvez atenuem os efeitos tóxicos do alumínio, manganês e ferro, como faz em outras gramíneas, mas também possa formar uma barreira física para diminuir a evapotranspiração, provável motivo da resistência dessas forrageiras ao déficit hídrico no cerrado.

Um dos maiores problemas no estabelecimento e na manutenção de pastagens nos solos tropicais reside nas concentrações extremamente baixas de fósforo disponível. Acrescente-se a esta pobreza natural desses solos a alta capacidade de adsorção deste

elemento às partículas do solo, em conseqüência da elevada acidez e de altos teores de óxidos de ferro e alumínio.

O fósforo é o nutriente mais limitante para o início do desenvolvimento e crescimento das forrageiras e, conseqüentemente para a produção de massa. É necessária a aplicação de elevadas quantidades deste elemento ao solo, para suprir a deficiência e compensar a quantidade que permanece adsorvida aos colóides do solo, ficando de forma indisponível às plantas.

Para buscar a redução na quantidade recomendada de adubos fosfatados faz-se necessária a compreensão das interações do fósforo com o solo, que ocasionam em menor disponibilidade deste elemento para as plantas, além de detectar uma possível reversibilidade dessas reações de adsorção, possibilitando assim, o máximo rendimento agrícola.

A reação de adsorção do íon fosfato aos colóides do solo está diretamente relacionada ao pH do mesmo, pois com a elevação do pH ocorre aumento da solubilidade dos fosfatos de ferro e alumínio e redução da adsorção do ânion fosfato à fase sólida do solo. Como técnica alternativa para correção de acidez do solo, pode-se utilizar o silicato de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ), com reações semelhantes ao calcário, que além de elevar o pH, disponibiliza o ânion silicato ( $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ ), que concorre com o ânion fosfato pelo mesmo sítio de adsorção, saturando dessa forma o ponto onde possivelmente seria adsorvido o fósforo.

Partindo do princípio que a aplicação do silicato pode resultar em aumento na disponibilidade de fósforo no solo para as culturas, pelo fato do ânion silicato ocupar os pontos de adsorção do ânion fosfato, objetivou-se estudar a influência da adubação silicatada aplicada juntamente com a adubação fosfatada nas características produtivas e nutricionais da forrageira capim-Marandu (*Brachiaria brizantha*), como o número de perfilhos e de folhas da forrageira, a produção de parte aérea, a concentração e o acúmulo de nutrientes, e a deposição de silício na folha dessa gramínea.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 Comportamento do silício no solo**

O silício é o componente majoritário de minerais do grupo dos silicatos, compreende aproximadamente 28% da crosta terrestre, apresenta-se de forma livre ou combinada como parte dominante da fração sólida e dissolvido na solução do solo (Ma et al., 2001).

Em regiões temperadas os teores de silício, como  $\text{SiO}_2$ , excedem os dos sesquióxidos de alumínio e ferro, enquanto nos solos de regiões tropicais ocorre o contrário. Os solos dos trópicos que são altamente intemperizados podem apresentar, em alguns casos, quantidade de silício cinco a dez vezes menores que solos de regiões temperadas (Foy, 1992).

A capacidade de liberação de silício para a solução de um solo é influenciada pela quantidade de sesquióxidos, os quais retém  $\text{SiO}_2$  e pelo grau de intemperismo do solo, mostrando que essa quantidade é diretamente dependente da estabilidade dos minerais da fase sólida. Meyer & Keeping (2001) relataram correlação positiva entre os teores de silício e de argila no solo.

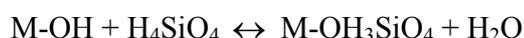
Em solos de textura e idade variadas do Estado de São Paulo, Raij & Camargo (1973) verificaram os menores valores de Si solúvel no Latossolo fase arenosa, e os maiores valores num podzólico argiloso, atribuindo a referida observação à reduzida porcentagem de argila no Latossolo, aliada à menor superfície específica total para o Argissolo, menos intemperizado e mais argiloso. Os autores verificaram ainda, teores de Si extraível com  $\text{CaCl}_2$   $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$  variando de 1 a  $43 \text{ mg dm}^{-3}$ , sendo os valores maiores encontrados nos solos mais argilosos e havendo também uma relação inversa com o grau de intemperismo.

Um dos fatores mais estudados e que interfere na solubilidade do silício no

solo, em condições aeróbicas, é o pH. A adsorção de silício monomérico por hidróxidos de ferro e alumínio recém-precipitados e por argilas de um Latossolo aumenta com a elevação do pH de 4,0 até 9,0 (McKeague & Cline, 1963).

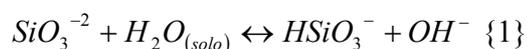
As principais formas de silício presentes no solo são: a) silício solúvel ( $H_4SiO_4$ ), que é desprovido de carga elétrica; b) silício adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e c) os minerais silicatados (cristalinos ou amorfos). Além do pH, a temperatura, o tamanho das partículas, a composição química e a presença de rachaduras (rupturas) na sua estrutura, influenciam a solubilidade destes minerais. Alguns fatores do solo também influenciam na dissolução desses minerais, tais como: matéria orgânica, umidade, potencial de óxido-redução e quantidade de sesquióxidos (Raij & Camargo, 1973).

Segundo Hingston et al. (1972), a máxima adsorção de silicato em gibbsita e goetita ocorre em pH próximo do pKa (9,6) do ácido silícico. A reação de adsorção do silício permite visualizar qualitativamente o efeito do pH nessa adsorção:



Nessa equação M representa o sítio de adsorção, que pode ser um íon ferro ou alumínio da superfície dos sesquióxidos. A elevação do pH provoca aumento no número de M-OH e, em consequência, o equilíbrio da reação se desloca para a direita, aumentando com isso a adsorção até pH em  $CaCl_2$  próximo de 9,0.

De acordo com Alcarde (1992), a ação neutralizante do silicato pode ser explicada em conformidade com as seguintes reações:



Essas equações mostram como a hidrólise do ânion silicato promove liberação de hidroxilas, e conseqüentemente a elevação do pH. Essas  $OH^{-}$  também neutralizam os  $H^{+}$ , e o aumento do pH faz o  $Al^{+3}$  alterar para o  $Al(OH)_3$ , forma precipitada e não tóxica para os vegetais.

A maioria dos solos contém consideráveis quantidades de silício, mas os cultivos consecutivos podem diminuir a concentração deste elemento até o ponto em que a aplicação de silício tenha contribuição na obtenção de mais elevadas produções das plantas. Os solos de clima tropical, de modo geral, têm baixa disponibilidade desse elemento e devem responder à aplicação de silicato.

## 2.2 Comportamento do fósforo no solo

O fósforo no solo está desigualmente distribuído em cinco compartimentos: precipitado com alumínio, ferro ou cálcio, adsorvido aos óxidos de ferro e alumínio da fração argila, em solução, na forma orgânica ou fazendo parte de compostos marcadamente insolúveis. Esses compartimentos exibem variadas capacidades de fixação e, portanto, de liberação do nutriente disponível às raízes das plantas na solução do solo. Em função do pH, o fósforo ocorre nas formas aniônicas  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  ou  $\text{PO}_4^{3-}$  (Novais & Kamprath, 1979; Bahia Filho, 1982; Raij, 1991). Nos solos tropicais, em função do pH normalmente encontrado, o fósforo ocorre quase que exclusivamente como ânion ortofosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ), derivado do ácido ortofosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ).

Os solos das regiões tropicais úmidas, devido ao processo de intemperização, apresentam riqueza de sesquióxidos de ferro e alumínio, os quais podem se apresentar com cargas positivas e, conseqüentemente adsorver o ânion fosfato em suas superfícies. A reação dos fertilizantes fosfatados com o solo depende do pH, da textura e da natureza dos colóides (Pereira & Faria, 1998).

A quantificação da relação P na solução/P na fase sólida pode se obtida, em laboratório, por meio de isotermas de adsorção. Em geral, quanto maior o teor de argila, maior a quantidade de P retida na fase sólida e, conseqüentemente, o teor de P na solução do solo será menor (Sousa & Lobato, 2003).

Quando adubos fosfatados são aplicados ao solo, depois de sua dissolução, grande parte do P é retido na fase sólida, formando compostos menos solúveis, e parte do P é aproveitada pelas plantas. A magnitude dessa recuperação que depende, principalmente, da espécie cultivada, e é afetada pela textura, tipos de minerais de argila e acidez do solo. Além disso, a dose, a fonte, a granulometria e a forma de aplicação do

fertilizante fosfatado também influenciam nesse processo (Sousa et al., 2004).

O mecanismo de adsorção-dessorção é um fenômeno de superfície e, portanto, o tamanho médio dos constituintes mineralógicos da fração argila do solo destaca-se como um dos principais fatores que influenciam essas reações (Souza et al., 1991). A maior adsorção de fósforo ocorre em solos ricos em goethita em relação à hematita, e isso pode ser explicado em parte pelo tamanho da goethita em relação à hematita (Bahia Filho et al., 1983; Corrêa, 1984; Souza et al., 1991).

A reação de adsorção de fósforo à superfície dos minerais de argila (óxidos de ferro e alumínio) é um processo de troca de ligantes do complexo de superfície em que hidroxilas e/ou moléculas de água previamente coordenadas aos cátions  $\text{Fe}^{+3}$  ou  $\text{Al}^{+3}$  são deslocadas pelos íons  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ , formando um novo complexo de superfície (Hingston et al., 1972).

Diversos autores demonstraram que, em solos ácidos, os óxidos de ferro da fração argila são os principais responsáveis pela adsorção de fósforo em detrimento de outros minerais, como a gibbsita e a caulinita (Hingston et al., 1972; Bahia Filho, 1982; Souza et al., 1991; Curi, 1993).

### **2.3 Interação entre silício e fósforo no solo**

O silício está presente na solução do solo na forma pouco dissociada, porém sujeita a interagir ativamente com o complexo sortivo. Vários minerais do solo são capazes de adsorver silício, entre eles as diversas formas de sílica cristalina e amorfa, silicatos e substâncias não-silicosas como óxidos de ferro, alumínio e magnésio, indicando a importância desses processos de adsorção para a química do silício no solo (McKeague & Cline, 1963).

Após alcalinização do solo pelo  $\text{CaSiO}_3$  há formação do  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , o qual transforma-se em  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$  e adsorve-se aos óxidos de ferro e alumínio da fração argila, impedindo ou dificultando a adsorção de fosfato ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) que, desta maneira, torna-se mais disponível na solução do solo (Hingston et al., 1972).

O uso de silicatos de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) ou de magnésio ( $\text{MgSiO}_3$ ), em solos ácidos, favorece a maior disponibilidade de fósforo para as plantas, diminuindo a fixação do íon ortofosfato (Carvalho, 1999).

Em um Latossolo foi verificada redução na retenção de fósforo de 18% e 24%, após a aplicação de  $\text{CaCO}_3$  e  $\text{CaSiO}_3$ , respectivamente, além de aumento na capacidade de troca de cátions do solo (Smyth & Sanchez, 1980). Baldeon (1995), ao estudar a ação alcalinizante e a competição Si x P na eficiência do termofosfato magnésiano, observou a superioridade do termofosfato em relação ao superfosfato triplo com e sem corretivo, na produção de massa seca da parte aérea das plantas. Este resultado foi atribuído à competição Si x P combinada com a ação alcalinizante do termofosfato.

A aplicação de  $\text{CaSiO}_3$  em solos ácidos do Havaí (EUA), cultivados com cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), reduziu a quantidade de fertilizante fosfatado necessária para manter o fósforo em  $0,2 \text{ mg L}^{-1}$  em solução. O decréscimo na adsorção de fósforo variou de 9 a 47%. A maior porcentagem de diminuição ocorreu em solos com mais elevados teores de caulinita e a menor no material mais intemperizado, rico em óxidos de ferro e alumínio. O efeito residual do  $\text{CaSiO}_3$  na diminuição da quantidade de fertilizantes fosfatados foi mais acentuado em pH em água de 5,5 do que em pH em água de 6,2. O requerimento de fósforo foi reduzido em  $500 \text{ kg ha}^{-1}$  no pH em água de 5,5 e em  $75 \text{ kg ha}^{-1}$  no pH em água de 6,2 (Roy et al., 1971).

Leite (1997) pesquisou a interação Si-P em Latossolo Roxo sob condições de laboratório e casa-de-vegetação com sorgo (*Sorghum bicolor*). Em laboratório constatou deslocamentos de P por Si e vice-versa, chegando a sugerir a inclusão de fontes de Si em programas de adubação com P em Latossolos, especialmente aqueles com baixos teores de Si disponível (solúvel).

## 2.4 Silício nas plantas

A absorção de silício pelas plantas dá-se como ácido monossilícico,  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ , de forma passiva, com o elemento acompanhando a absorção da água (Jones & Handreck, 1967).

A movimentação de Si, na forma monomérica  $H_4SiO_4$ , até as raízes depende de sua concentração na solução do solo e da espécie de planta. Em baixas concentrações é reduzido o transporte por fluxo de massa, que passa a ser significativo quando se tratar de plantas acumuladoras cultivadas em solos com elevados teores do elemento (Marschner, 1995).

O Si é transportado como  $H_4SiO_4$  no xilema e a sua distribuição na planta está relacionada com a taxa transpiratória das partes da planta. Esta distribuição depende muito da espécie: é uniforme nas plantas que acumulam pouco Si e nas acumuladoras, como o arroz (*Oryza sativa*), 90% do elemento encontra-se na parte aérea (Malavolta, 1980; Korndörfer et al., 1999a; Mengel & Kirkby, 2001).

No interior da planta, 99% do total de silício acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado, o qual é de difícil solubilização. Na planta, o silício concentra-se nos tecidos suportes do caule e das folhas, e pode ser encontrado em baixa concentração nos grãos. A concentração média de silício nas raízes é normalmente de um décimo da concentração no caule. Testes conduzidos com silício radioativo ( $^{31}Si$ ) têm mostrado que o silício é transportado no caule poucas horas após ter sido absorvido pelas raízes, sendo mencionado que o transporte é regulado pela taxa de transpiração.

O silício é um elemento químico envolvido em funções físicas de regulação da evapotranspiração e capaz de formar uma barreira de resistência mecânica à invasão de fungos e bactérias para o interior da planta, dificultando também, o ataque de insetos sugadores e herbívoros (McNaughton & Tarrants, 1983; Epstein, 2001; Melo et al., 2003). O efeito da proteção mecânica é atribuído, principalmente, ao depósito de silício na forma de sílica amorfa ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ) na parede celular. A acumulação de silício nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular a qual, pela redução da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor. Isso pode ser de extrema importância para as gramíneas que crescem em solos de clima tropical, onde o período de estiagem é bem definido.

Em relação à concentração de silício, as plantas superiores podem ser classificadas em: acumuladoras - que incluem muitas gramíneas como o arroz, as quais têm concentração de  $SiO_2$  variando de 100 a 150 g  $kg^{-1}$ ; intermediárias de 10 a 50

g kg<sup>-1</sup> (cereais, cana-de-açúcar, poucas dicotiledôneas); e não acumuladoras – com menos de 5 g kg<sup>-1</sup> de SiO<sub>2</sub>, incluindo a maioria das dicotiledôneas, como as leguminosas e muitas espécies arbóreas (Miyake & Takahashi, 1983; Korndörfer et al., 1999a e 1999b).

O silício não está no grupo de elementos essenciais para o crescimento das plantas. No entanto, o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas, como arroz (*Oryza sativa*), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*), sorgo (*Sorghum bicolor*), milheto (*Pennisetum americanum*), aveia (*Avena sativa*), trigo (*Triticum aestivum*), milho (*Zea mays*), capim-quicuí (*Brachiaria humidicola*), grama-bermuda (*Cynodon dactylon*) e algumas espécies não gramíneas como alfafa (*Medicago sativa*), feijão (*Phaseolus vulgaris*), tomate (*Lycopersicon esculentum*), alface (*Lactuca sativa*) e repolho (*Brassica oleracea*), têm apresentado aumento com a disponibilidade de silício no solo (Marschner, 1995; Korndörfer et al., 1999a; Korndörfer & Lepsch, 2001).

A aplicação de silicatos finamente moídos (escórias) aos solos cultivados com gramíneas é prática usual no Havaí (EUA) e em outras partes do mundo, visando o aumento da produtividade das culturas (Tisdale et al., 1985; Korndörfer et al., 1999a). Os efeitos positivos dos silicatos são normalmente associados a aumento na disponibilidade de silício e elevação do pH do solo (Smyth & Sanchez, 1980), fornecimento de micronutrientes e resistência de plantas às doenças (Jones & Handreck, 1967), redução do estresse salino (Matoh et al., 1986), disposição mais ereta das folhas (Yoshida, 1969), resistência ao ataque de pragas (Marschner, 1995), maior disponibilidade (dessorção e menor absorção) de fósforo (Roy et al., 1971) e tolerância à toxidez de alumínio e ferro no solo (Mengel & Kirkby, 2001). Os benefícios do Si conferidos às plantas em si são devidos às suas contribuições para a estruturação da parede celular de raízes e folhas. Portanto, este elemento não tem um papel metabólico definido nas plantas e sua ação provoca efeitos indiretos, os quais, em conjunto contribuem para maior produtividade vegetal.

Agarie et al. (1998) afirmaram que o silício pode ser uma das razões para o aumento da massa seca pela maior atividade fotossintética que proporciona. A capacidade de fotossíntese da planta pode ser aumentada pela maior absorção do silício,

proporcionando melhor arranjo das folhas, tornando-as mais eretas. Também observaram melhor aproveitamento da água do solo provavelmente devido à redução na evapotranspiração.

## 2.5 Fósforo em plantas forrageiras

Uma série de trabalhos enfocando a adubação fosfatada em gramíneas forrageiras é encontrada na literatura. Além das respostas das espécies em crescimento e produção, a determinação do nível crítico e da concentração de fósforo no tecido vegetal tem sido estudadas.

A falta de fósforo no solo reduz o desenvolvimento das espécies forrageiras e a concentração desse nutriente na massa seca da parte aérea delas, provocando severos prejuízos nutricionais aos animais que as consomem (Werner, 1986).

A essencialidade do fósforo para as plantas, entre elas as forrageiras, decorre de sua participação nas membranas celulares, nos fosfolipídios, nos ácidos nucleicos e em compostos que armazenam, transportam e fornecem energia metabólica como a ATP e, assim, em uma série de processos metabólicos dos vegetais, tais como fotossíntese; síntese de macromoléculas como carboidratos, proteínas, gorduras e absorção ativa de nutrientes, dentre outros (Marschner, 1995).

Monteiro & Werner (1977) compararam os efeitos do fósforo na formação da pastagem e em pasto estabelecido de capim-colonião (*Panicum maximum*), num solo Argissolo Vermelho-Amarelo com teor muito baixo de fósforo. Verificaram que o fósforo foi indispensável ao adequado estabelecimento da gramínea, enquanto no pasto formado a aplicação de superfosfato simples (500 kg ha<sup>-1</sup>) resultou em aumento de 20% na produção anual da massa seca do capim. Em ambos os casos, o teor de fósforo na planta foi significativamente incrementado pela adubação fosfatada.

Rossi (1999), trabalhando com capim-Braquiária (*Brachiaria decumbens*) em solução nutritiva e aplicando três doses de fósforo (3,1; 15,5 e 31,0 mg L<sup>-1</sup>), observou aumento linear na produção de massa seca da parte aérea e das raízes desse capim, em função do suprimento de fósforo.

Almeida (1998), trabalhando com a *Brachiaria decumbens* e a *Brachiaria brizantha* com doses de fósforo em solução nutritiva, obteve resposta crescente de produção de massa seca da parte aérea nos dois cortes efetuados e das raízes, sendo que a *Brachiaria brizantha* foi mais responsiva às doses de fósforo empregadas.

Silva (1996), estudando os efeitos do suprimento de fósforo na produção da *Brachiaria decumbens* e da *Brachiaria brizantha*, por dois períodos subseqüentes (34 e 28 dias), observou que o incremento nas doses de fósforo resultou em aumento no número de perfilhos, o qual não teve diferença entre as duas espécies. Verificou também incrementos na produção de massa seca da parte aérea e das raízes, bem como na concentração de fósforo nas folhas dos capins devido ao aumento do suprimento de fósforo na solução.

## **2.6 *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu**

Em 1984, o cultivar Marandu da *Brachiaria brizantha* foi lançado comercialmente pela EMBRAPA, tendo o nome do cultivar o significado de novidade no idioma Guarani, uma nova alternativa de forragem para a região dos cerrados (Nunes et al., 1985).

A espécie é originária de uma região vulcânica da África, onde os solos geralmente apresentam bons níveis de fertilidade. Por isso essa espécie é recomendada como alternativa para região do cerrados com média a boa fertilidade. Também apresenta boa tolerância a altos níveis de alumínio e manganês ao solo, não respondendo significativamente à calagem. A produção média é de 4 a 8 Mg ha<sup>-1</sup> de massa seca, podendo chegar a 20 Mg ha<sup>-1</sup> (Alcântara & Bufarah, 1992).

O cultivar Marandu pode ser diferenciado de outros ecotipos de *Brachiaria brizantha* pela associação obrigatória das seguintes características: plantas sempre robustas e com intenso perfilhamento nos nós superiores dos colmos floríferos; presença de pêlos na porção apical dos entre-nós; bainhas pilosas e lâminas largas e longas, glabras na face superior e com margens não cortantes (Valls & Sendulsky, 1984). Apresenta boa qualidade, avaliada por digestibilidade e teor protéico e de fibras na massa seca, quando comparada com outras forrageiras.

## 2.7 Deposição de sílica em tecidos vegetais

A deposição de sílica nos vegetais é influenciada pela idade, tipo e localização dos tecidos, e o conteúdo total de sílica nas gramíneas aumenta na parte aérea com o avanço da idade (Jones & Handreck, 1967). A deposição de sílica nas superfícies das folhas é diferente, pois Hayward & Parry (1973) encontraram maiores conteúdos de silício na superfície abaxial (inferior) das folhas de *Hordeum sativum* L, enquanto na superfície adaxial (superior) o silício foi encontrado nos tricomas, esclerênquimas e ao longo das nervuras, e nada foi encontrado nas áreas fotossintéticas.

Nos vegetais, os depósitos de sílica, comumente chamados de silicofitólitos ocorrem na parede celular como incrustação e/ou impregnação, ou ainda sob a forma de corpos silicosos (opala) no interior das células de variados tecidos (Metcalfé, 1983; Sangster et al., 1999). Na epiderme foliar a sílica combina-se com a celulose (Jones & Handreck, 1967; Cheong et al., 1973), podendo estar presente tanto nas células-guarda dos estômatos, nos tricomas, nas células papilosas e nas células buliformes (Campos & Labouriau, 1969; Silva & Laboriau, 1970; Ball et al., 1999). Segundo esses autores, a sílica também pode ocorrer nos elementos vasculares.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Escolha e caracterização do solo para a experimentação**

#### **3.1.1 Seleção de solos e coleta de amostras**

Com o objetivo de selecionar um solo que apresentasse as mais baixas concentrações de fósforo e de silício e as mais elevadas concentrações de óxidos de ferro e de alumínio (uma vez que os mesmos normalmente promovem maior adsorção de ânions), foram coletadas amostras superficiais (0-20cm) de oito solos do Estado de São Paulo, com variação no material de origem e nos teores de argila, sendo eles, de acordo com EMBRAPA (1999): Neossolo Quartzarênico (RQ), Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVAd), Chernossolo Argilúvico (MT), Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd), Latossolo Vermelho Distroférrico (LVdf), Latossolo Vermelho Acriférrico (LVwf), Latossolo Vermelho-Escuro (LV), Cambissolo Háptico Eutroférrico (CXef). Nessas amostras foram realizadas as determinações de: pH em água, pH abrasão, pH em  $\text{CaCl}_2$ ; K, Ca, Mg, Al, H+Al, P total (EMBRAPA, 1997) e P remanescente (Alvarez et al., 2000), Si disponível (Hallmark et al., 1982); teores totais dos óxidos  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{TiO}_2$ , obtidos após ataque sulfúrico (EMBRAPA, 1997) e ferro livre total por meio de duas extrações sucessivas com ditionito-citrato-bicarbonato de sódio (EMBRAPA, 1997).

#### **3.1.2 Análise física dos solos**

Foi realizada a análise granulométrica das amostras dos oito solos pelo método do densímetro (EMBRAPA, 1997). Em 20 g de terra adicionaram-se 100 mL de solução dispersante (hexametáfosfato de sódio e hidróxido de sódio). Agitou-se o conjunto em agitador mecânico horizontal por 16 horas a 30 rotações por minuto. Passou-se toda a

suspensão em peneira com malhas de 0,053 mm, para recolhimento da areia total. A suspensão foi recolhida em proveta calibrada, com capacidade para 1 L, e completou-se o volume com água destilada. Agitou-se a amostra com haste manual por 40 segundos, e após 40 segundos de repouso, inseriu-se o densímetro na suspensão e efetuou-se a primeira leitura correspondente a silte mais argila. Após novo repouso por duas horas, realizou-se a segunda leitura que correspondeu à fração argila. Por diferença, os separados até 0,05 mm foram estimados. Secou-se a areia em estufa a 60°C e determinaram-se as cinco subfrações com o uso de peneiras (1,0 – 0,5 – 0,25 – 0,105 mm).

### **3.1.3 Análises mineralógicas dos solos**

Foram realizadas análises mineralógicas dos oito solos através da difração de raios-X. Houve a necessidade de eliminação da matéria orgânica, com uma solução de peróxido de hidrogênio para estudar as frações inorgânicas dos solos. Posteriormente à eliminação da matéria orgânica, realizou-se a deferrificação das amostras, utilizando-se uma solução de citrato de sódio e carbonato de sódio. Esse processo remove os óxidos de ferro livres (hematita e goetita) e facilita a dispersão dos materiais do solo e das suas diversas frações, pois evita o aprisionamento mecânico das partículas de argila nos materiais de maiores dimensões (Ghabru et al., 1990). As amostras de argila previamente tratadas para eliminação da matéria orgânica e dos óxidos de ferro foram analisadas, a fim de determinar a mineralogia qualitativa das mesmas, quando saturadas com  $Mg^{+2}$ , glicoladas, e nas saturadas com  $K^{+}$  submetidas a 25, 110, 350 e 550°C.

### **3.1.4 Fósforo remanescente no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico**

O fósforo remanescente consiste no fósforo que resta na solução após agitação do solo por determinado período com uma solução contendo uma concentração inicial de fósforo. Realizou-se a determinação do fósforo remanescente, segundo metodologia preconizada por Alvarez et al. (2000). Colocaram-se 5 cm<sup>3</sup> de terra fina seca ao ar (TFSA) em erlenmeyer de 125 mL e adicionaram-se 50 mL da solução de  $CaCl_2$  10 mmol L<sup>-1</sup> contendo 60 mg L<sup>-1</sup> de P. Agitou-se por 1 hora e, após a amostra ser

centrifugada e filtrada, procedeu-se a determinação do teor de P na solução. A partir do valor obtido, determinou-se o intervalo das doses de fósforo a serem utilizadas na quantificação da capacidade máxima de adsorção de fósforo em conformidade com Alvarez & Fonseca (1990).

### **3.1.5 Adsorção de fósforo no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico**

A determinação da capacidade de adsorção de fosfato seguiu a metodologia preconizada por Okazaki & Chao (1968). Para a determinação da quantidade de fósforo adsorvido, 2 g de terra seca em estufa foram agitados por 24 horas em tubos de polietileno, com 20 mL de solução de  $\text{CaCl}_2$   $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$  (relação solo:solução de 1:10), com concentrações de fósforo de 0; 10; 20; 40; 50 e  $60 \text{ mg L}^{-1}$ , empregando o fosfato de potássio.

### **3.2 Pré-teste de incubação**

Foi efetuado um pré-teste de incubação com amostra do Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, com o objetivo de se quantificar as alterações no solo pelas fontes dos nutrientes que seriam usadas no experimento com plantas. Utilizou-se o fatorial  $5 \times 5$  fracionado (Littell & Mott, 1975), com as 13 combinações assim definidas, para silício e fósforo, respectivamente, em  $\text{mg dm}^{-3}$ : 150 e 10; 150 e 170; 150 e 330; 225 e 90; 225 e 250; 300 e 10; 300 e 170; 300 e 330; 375 e 90; 375 e 250; 450 e 10; 450 e 170 e 450 e 330, as quais foram distribuídas segundo delineamento estatístico de blocos ao acaso, com quatro repetições.

Utilizaram-se os seguintes produtos: Wollastonita ( $\text{Si}=243 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $\text{CaO}=42 \text{ g kg}^{-1}$ ,  $\text{MgO}=1,5 \text{ g kg}^{-1}$ ),  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgSO}_4$  e  $\text{MgCO}_3$ . Esta adubação foi balanceada na forma de reagentes p.a. para que somente as quantidades de fósforo e de silício variassem, e forneceu, em  $\text{mg dm}^{-3}$ :  $\text{K}=115$ ;  $\text{Ca}=550$ ;  $\text{Mg}=137$ ;  $\text{N}=205$ ;  $\text{S}=64$ ;  $\text{B}=0,4$ ;  $\text{Cu}=1,0$ ;  $\text{Mo}=0,1$  e  $\text{Zn}=2,0$ . Após realizar o balanço entre as quantidades necessárias de cada produto, os mesmos foram pesados e colocados em sacos plásticos com  $0,170 \text{ kg}$  de TFSA. Para a homogeneização na distribuição dos produtos nos solos, os sacos plásticos foram agitados pelo período de

5 minutos e a terra com os produtos foi colocada em copos plásticos com capacidade de 200 mL, os quais foram mantidos na capacidade de campo durante 15 dias.

### **3.3 Experimento em casa-de-vegetação**

#### **3.3.1 Local, época e espécie forrageira**

Após o pré-teste de incubação desenvolveu-se um experimento em casa-de-vegetação na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – USP, Piracicaba, São Paulo, com a espécie forrageira *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, no período de 5 de janeiro a 14 de março de 2004, utilizando-se o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico. O solo foi coletado no campus “Luiz de Queiroz” na profundidade de 0-20 cm, passado em peneira de 2 mm de diâmetro, e deixado em cima de uma lona plástica para secar. Amostras de 5,5 kg da TFSA foram colocadas em sacos plásticos juntamente com todos os produtos químicos, e agitados durante cinco minutos, favorecendo homogeneização dos nutrientes com o solo.

#### **3.3.2 Instalação e condução do experimento**

A unidade experimental constou de um vaso plástico com capacidade de 3,6 litros contendo os 5,5 kg de TFSA. Todos os vasos receberam os mesmos nutrientes do pré-teste de incubação, com as 13 combinações para silício e fósforo, em mg dm<sup>-3</sup>: 150 e 10; 150 e 170; 150 e 330; 225 e 90; 225 e 250; 300 e 10; 300 e 170; 300 e 330; 375 e 90; 375 e 250; 450 e 10; 450 e 170 e 450 e 330, permanecendo incubados pelo período de 25 dias com umidade na capacidade de campo, controlada por pesagem diária. Os vasos foram mantidos cobertos com lona plástica, para reduzir a perda de água, e sempre que necessário foram irrigados com água desionizada.

As sementes da gramínea forrageira foram colocadas para germinar no dia 23 de dezembro de 2003 em bandejas plásticas contendo areia lavada com água desionizada, e periodicamente irrigadas também com água desionizada. Aos 14 dias após a semeadura, procedeu-se o transplântio de 12 mudas para cada vaso plástico e foram efetuados desbastes até permanecerem cinco plantas em cada vaso. Os vasos foram irrigados diariamente com água desionizada e realizou-se, a cada três dias, a

contagem do número de perfilhos e de folhas nas plantas, somando-se esses valores ao final de cada crescimento. Cada perfilho foi marcado com fio plástico colorido e as folhas que apresentavam lígula visível eram marcadas com caneta para transparências.

Aos 35 dias após o transplântio realizou-se o primeiro corte das plantas a três centímetros do solo, e a parte aérea foi separada em: a) Folhas emergentes - FE (folhas não totalmente expandidas, isto é, as folhas sem lígula visível); b) Lâminas de folhas recém-expandidas - LR (lâminas das duas folhas mais novas totalmente expandidas, com lígula visível); c) Lâminas de folhas maduras - LM (lâminas das demais folhas totalmente expandidas, com lígula visível); d) Colmos + Bainhas - CB (colmos mais bainhas propriamente ditas).

Aos 34 dias após o primeiro corte realizou-se o segundo corte rente ao solo, procedendo a separação da parte aérea com o mesmo critério do primeiro corte, e as raízes foram lavadas com água corrente e água desionizada, utilizando-se um conjunto de peneiras de malha de 0,25 e 1,00 mm. Todo material vegetal coletado foi colocado para secar por 72 horas em estufa a 65°C, com circulação forçada de ar. Em seguida foi pesado e moído em moinho do tipo Wiley e acondicionado em sacos plásticos para as análises laboratoriais.

O delineamento experimental utilizado foi o mesmo do pré-teste, ou seja, um esquema fatorial 5x5 fracionado (Littell & Mott, 1975), com 13 combinações para silício e fósforo em blocos ao acaso, com quatro repetições.

### **3.3.3 Determinações químicas nos solos**

Efetuuou-se amostragem do solo de cada vaso, após o primeiro e segundo cortes das plantas, de 0 a 20 cm, utilizando-se uma sonda metálica. Nessas amostras foram realizadas as determinações de: pH em  $\text{CaCl}_2$ , P, Ca, Mg e K extraídos pela resina trocadora de íons,  $\text{H}^+/\text{Al}^{+3}$  por acetato de cálcio (Raij et al., 2001) e Si com solução de  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol L<sup>-1</sup> (Hallmark et al., 1982).

### **3.3.4 Produção de massa seca**

A produção de massa seca foi determinada para a parte aérea através da soma da massa seca dos seus componentes (folhas emergentes, lâminas de folhas recém-expandidas, lâminas de folhas maduras e colmos mais bainhas) em ambos os cortes da planta forrageira e para as raízes após o segundo corte.

### **3.3.5 Determinação da área foliar**

A medição de área foliar foi realizada no aparelho integrador de área foliar LICOR<sup>®</sup> LI-3000 na ocasião dos dois cortes das plantas. As três partes referentes às folhas (FE, LR e LM) foram mensuradas separadamente e em seguida esses valores foram somados obtendo-se a área foliar total de cada vaso.

### **3.3.6 Composição mineral da forrageira**

As determinações de P, K, Ca, Mg e S, em cada componente da parte aérea e nas raízes, foram realizadas conforme metodologia proposta por Sarruge & Haag (1974). A digestão empregada foi a nítrico-perclórica e os métodos analíticos foram o colorimétrico para P, a espectrofotometria de absorção atômica para Ca e Mg, a fotometria de chama para K, e a turbidimetria do cloreto de bário para S.

A análise foliar de Si foi realizada segundo Bataglia et al. (1978), onde 100 mg da amostra vegetal seca e moída foi pesada em cadinhos de níquel e incinerada na mufla a 450-500°C, durante 30 minutos. Posteriormente colocou-se 1 mL de solução de hidróxido de sódio a 10%, voltando-se com os cadinhos à mufla e incinerando-se por mais 20 minutos a 400-450°C. Determinou-se a concentração de silício no material vegetal pelo método colorimétrico do azul de molibdênio.

### **3.3.7 Estudos anatômicos das folhas do capim-Marandu**

Um segundo experimento foi conduzido na casa-de-vegetação localizada no Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, cultivando-se o capim-Marandu, no período de 14 de dezembro a 15 de janeiro. Foram aplicadas cinco doses de silício (0; 0,6; 1,2; 1,8 e 2,4 mmol L<sup>-1</sup>) e quatro

repetições e tendo sílica como substrato. Foi utilizada a solução nutritiva completa de Sarruge (1975), modificada para atender as doses de silício, a fonte de silício utilizada foi o silicato de potássio ( $\text{SiO}_2=260 \text{ g kg}^{-1}$ ;  $\text{K}_2\text{O}=130 \text{ g kg}^{-1}$ ). O potássio foi balanceado em todas as doses de silício, permanecendo com  $312 \text{ mg L}^{-1}$ . Os vasos foram distribuídos segundo o delineamento estatístico de blocos ao acaso, com quatro repetições.

As soluções foram circuladas nos vasos quatro vezes ao dia, e a renovação das soluções foi realizada a cada 14 dias. Foi realizado um corte das plantas aos 31 dias após o transplante das mudas. Após o corte a parte aérea das plantas foi separada em: a) Folhas emergentes - FE (folhas não totalmente expandidas); b) Lâminas de folhas recém-expandidas - LR (lâminas das duas folhas mais novas totalmente expandidas); c) Lâminas de folhas maduras - LM (lâminas das demais folhas totalmente expandidas, com lígula visível). Não foi realizada a pesagem da massa seca da parte aérea e nem das raízes, porque o interesse era apenas de trabalhar com o tecido nas avaliações qualitativas.

Os componentes foliares da parte aérea do capim-Marandu, ou seja, as lâminas de folhas maduras, as lâminas de folhas recém-expandidas e as folhas em expansão foram fixados por 48 horas em solução de glutaraldeído e formaldeído (Karnovski, 1965). Posteriormente estas amostras foram levadas para a retirada do ar dos espaços intercelulares em bomba a vácuo, possibilitando a infiltração da solução de Karnovski nesses espaços. Depois de infiltradas, as amostras foram desidratadas através de uma série alcoólica-etílica nas concentrações de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100%, permanecendo em cada uma delas por 15 minutos.

Uma vez desidratadas as amostras foram infiltradas em resina glicol metacrilato da Reichert-Jung®. Os blocos resultantes foram seccionados a  $0,5 \mu\text{m}$  de espessura, através de navalhas de aço tipo C acopladas a micrótomo rotativo manual.

Os cortes foram posteriormente corados com azul de toluidina  $0,5 \text{ g L}^{-1}$  em tampão fosfato e ácido cítrico (Sakai, 1973) por 20 minutos. Posteriormente os cortes foram montados em resina sintética Entellan (Merck). As lâminas foram analisadas, buscando observar a deposição de silício na epiderme, em microscópio óptico acoplado

a câmara para captura de imagens, com a devida escala métrica. Foram fotografados os cortes nos aumentos de 10, 20, 50 e 100 vezes.

A análise de raio-X foi realizada no Laboratório do Núcleo de Apoio à Pesquisa/Microscopia Eletrônica Aplicada à Pesquisa Agropecuária (NAP/MEPA/ESALQ/USP). Para observação da presença de sílica nos tecidos, segmentos com 1 cm de folhas foram fixados em solução de Karnovsky (1965). Após a fixação o material vegetal foi desidratado em série cetônica (30, 50, 70, 90 e 100%). A seguir, as amostras foram congeladas em nitrogênio líquido e cortadas com bisturi. Os fragmentos foram aderidos a um suporte adequado e submetidos ao recobrimento com carbono (carbon thread), em metalizador Balzers "sputtering" SED 030. Finalmente, as lâminas foliares foram examinadas em microscópio eletrônico de varredura DSM 940 A, e submetidas à análise de raio X.

### **3.3.8 Análises estatísticas**

Os resultados foram submetidos às análises estatísticas utilizando-se o programa estatístico SAS – System for Windows 6,11 (SAS INSTITUTE, 1996). Realizou-se a análise de variância, e no caso de teste de F significativo para a interação entre fósforo e silício procedeu-se ao estudo de regressão polinomial (superfície de resposta) através do comando RSREG. Quando a interação não foi significativa, os resultados foram submetidos à análise de variância mediante o uso do comando GLM, para verificar a significância das doses de fósforo e de silício. Adotou-se o nível de 5% de significância.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análises químicas e físicas dos oito solos

As análises químicas e físicas dos oito solos do Estado de São Paulo foram realizadas com intuito de escolher um destes solos que apresentasse as mais baixas concentrações de fósforo e de silício e as mais elevadas concentrações de óxidos de ferro e de alumínio.

Analisando a Tabela 1, pode-se observar baixo teor de silício e de fósforo na amostra de terra do Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) e no Neossolo Quartzarênico (RQ), em comparação aos outros solos analisados. Esses mesmos solos apresentaram teores totais de óxidos de alumínio e ferro médios e, baixos teores de silício total (Tabela 2). A diferença entre esses dois solos está mais no teor de argila, o LVAd possui maior teor de argila quando comparado ao RQ, por isso escolheu-se o LVAd e não o RQ para o estudo com doses de fósforo e de silício cultivando o capim-Marandu.

Os solos MT, LVdf, LVwf e CXef apresentaram porcentagem de saturação por bases (V) alta (Tabela 1) para serem utilizados no experimento com o capim-Marandu. Premazzi (1991), trabalhando com um Latossolo Vermelho-Amarelo Álico, com índice de saturação por bases de 10%, constatou a máxima produção de *Brachiaria brizantha*, crescendo em casa-de-vegetação com V de 43%.

Os solos LVdf, LVwf e CXef apresentaram teor médio de fósforo disponível para formação das forrageiras (Raij et al., 1996), o que dificultaria a obtenção de respostas mais expressivas à adubação fosfatada e não representariam a realidade da maior parte dos solos com pastagens no Brasil (Tabela 1).

Tabela 1. Resultados das análises químicas das amostras de terra dos horizontes superficiais (0-20 cm) dos oito solos amostrados no Estado de São Paulo

Amostra	pH				Si mg kg <sup>-1</sup>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	P Dispon. mg dm <sup>-3</sup>	P Reman. mg L <sup>-1</sup>	K	Ca	Mg	Al	H+Al	SB	CTC	V	m
	H <sub>2</sub> O	KCl	CaCl <sub>2</sub>	abrasão													
RQ	5,6	4,8	5,1	6,6	3,2	18	4	50,0	1,9	8,0	4,0	0,0	11,0	13,9	24,9	56,0	0,0
PVAd	4,4	3,8	3,7	5,8	4,1	33	6	42,9	1,3	10,0	5,0	12,0	47,0	16,3	63,3	26,0	42,0
MT	6,1	5,8	5,9	7,4	35,0	49	11	35,5	4,7	84,0	34,0	0,0	25,0	122,7	147,7	83,0	0,0
<b>LVAd</b>	<b>5,4</b>	<b>4,6</b>	<b>4,7</b>	<b>6,3</b>	<b>4,1</b>	<b>26</b>	<b>5</b>	<b>37,0</b>	<b>0,7</b>	<b>15,0</b>	<b>6,0</b>	<b>3,0</b>	<b>30,0</b>	<b>21,7</b>	<b>51,7</b>	<b>42,0</b>	<b>12,0</b>
LVdf	6,3	5,9	6,0	7,1	34,8	28	25	36,9	3,3	58,0	26,0	0,0	16,0	87,3	103,3	85,0	0,0
LVwf	6,4	5,5	5,9	9,8	9,3	34	18	8,3	5,8	40,0	17,0	0,0	30,0	62,8	92,8	68,0	0,0
LV	5,2	4,3	4,4	6,3	8,6	36	14	8,0	4,1	30,0	10,0	4,0	69,0	44,1	113,1	39,0	8,0
CXef	5,7	4,8	5,2	6,5	43,3	28	30	25,0	6,4	73,0	18,0	1,0	37,0	97,4	134,4	72,0	1,0

Examinando a Tabela 2, observa-se que o índice Ki variou de 0,77 a 3,16, revelando que os solos diferem quanto ao grau de intemperismo, uma vez que quanto mais alto o valor de Ki menor o estágio de intemperismo do solo. Dentre os latossolos, o LVAd apresentou o maior valor, o que indica o predomínio de caulinita e sesquióxidos de ferro e alumínio na fração argila destes solos. O índice Kr classifica todos os solos como cauliniticos ( $Kr > 0,75$ ) à exceção do LVwf que é denominado de oxidico ( $Kr \leq 0,75$ ) (EMBRAPA, 1999).

Segundo Lopes (1984), os teores totais de Si na fração argila diminuem com o grau de intemperismo. O aumento da intensidade do intemperismo provoca maior alteração dos minerais primários com a conseqüente perda dos elementos mais solúveis (Ca, Mg, Na, K, etc.) e posterior dessilicatização desses minerais. Este é o processo de formação dos Latossolos, que possuem como minerais predominantes, as argilas cauliniticas, e os óxidos e hidróxidos de Fe e Al.

A Tabela 3 mostra os resultados das análises físicas das amostras dos oito solos. Pode-se constatar que a amostra de terra do solo LVAd apresentou concentração média de argila e a predominância dos minerais dessa argila é de minerais do tipo 1:1, como as caulinitas (Figura 4). Utilizando o sistema de classificação de solos da EMBRAPA (1999), pode-se classificar o solo RQ em arenoso, os solos PVAd e LVAd como de textura média, e os solos MT, LVdf e CXef como de textura argilosa, e os solos LVwf e LV como de textura muito argilosa.

#### **4.2 Análises mineralógicas dos oito solos**

Nas Figuras de 1 a 8 são apresentados os difratogramas de raios-X da fração argila deferrificada dos horizontes superficiais dos solos, saturadas com K e Mg e posteriormente analisadas em condições naturais (a 25°C), após tratamentos térmicos variando de 110°C a 550°C para as tratadas com K e glicolada para Mg. Em todos os Latossolos a caulinita foi o mineral predominante. Tal composição mineralógica está em acordo com as características de solos muito intemperizados.

Tabela 2. Resultados das análises químicas complementares das amostras de terra dos horizontes superficiais (0-20 cm) dos oito solos amostrados no Estado de São Paulo

Amostra	$\Delta\text{pH}$	Teores totais					$\text{Fe}_d$	$\text{Fe}_o$	Ki	Kr
		$\text{SiO}_2$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	MnO				
-----g kg <sup>-1</sup> -----										
RQ	-0,8	28,0	15,3	7,6	1,3	0,1	5,3	2,4	3,16	2,39
PVAd	-0,6	107,0	97,4	16,2	1,3	0,1	90,3	18,0	1,89	1,71
MT	-0,3	103,0	82,6	108,7	13,4	2,1	63,9	34,1	2,15	1,17
<b>LVAd</b>	<b>-0,8</b>	<b>57,0</b>	<b>54,1</b>	<b>36,1</b>	<b>9,1</b>	<b>0,3</b>	<b>10,0</b>	<b>13,2</b>	<b>1,82</b>	<b>1,27</b>
LVdf	-0,4	177,0	179,0	75,4	8,0	0,4	30,3	25,3	1,70	1,34
LVwf	-0,9	112,0	248,0	321,0	108,0	0,9	131,0	106,7	0,77	0,42
LV	-0,8	182,0	200,9	217,4	35,6	0,7	98,3	39,9	1,56	0,92
CXef	-0,9	147,0	112,7	207,4	36,1	2,4	72,9	106,7	2,25	1,03

$\text{Fe}_d$  = Fe extraível em solução ditionito-citrato-bicarbonato;  $\text{Fe}_o$  = Fe extraível em solução ácida de oxalato de amônio.

Tabela 3. Resultados das análises físicas das amostras de terra dos horizontes superficiais (0-20 cm) dos oito solos do Estado de São Paulo

Amostra	Areia					Silte	Argila
	MG	G	M	F	MF		
----- g kg <sup>-1</sup> -----							
RQ	7,4	131,4	447,2	308,0	26,0	920,0	60,0
PVAd	72,4	189,4	127,2	130,6	79,0	598,6	335,0
MT	40,0	33,4	55,4	127,0	73,7	329,5	460,0
<b>LVAd</b>	<b>1,0</b>	<b>30,0</b>	<b>248,6</b>	<b>463,6</b>	<b>106,8</b>	<b>760,0</b>	<b>200,0</b>
LVdf	1,6	10,4	37,4	133,6	103,0	286,0	550,0
LVwf	18,0	6,40	14,90	36,2	94,7	154,0	713,9
LV	1,0	10,8	36,2	101,2	9,5	158,7	718,0
CXef	7,4	29,8	71,6	122,4	31,7	262,9	484,0

MG = muito grossa; G = grossa; M = média; F = fina; MF = muito fina.

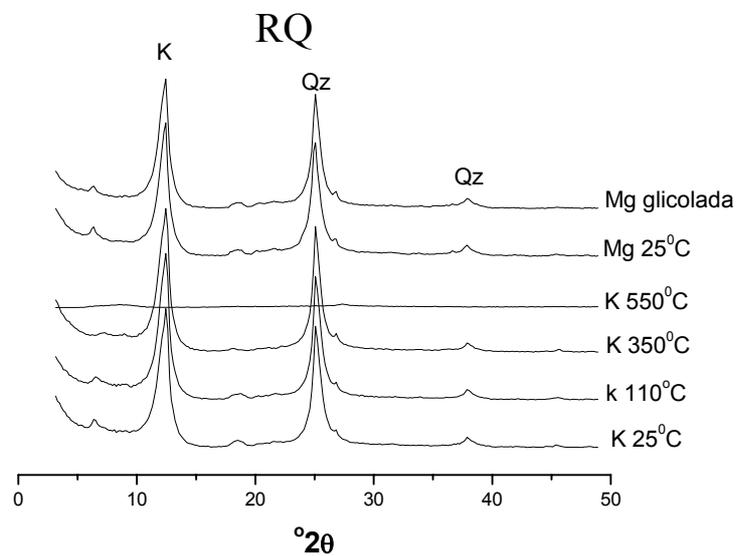


Figura 1 – Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte superficial do Neossolo Quartzarênico (K=caulinita; QZ=quartzo)

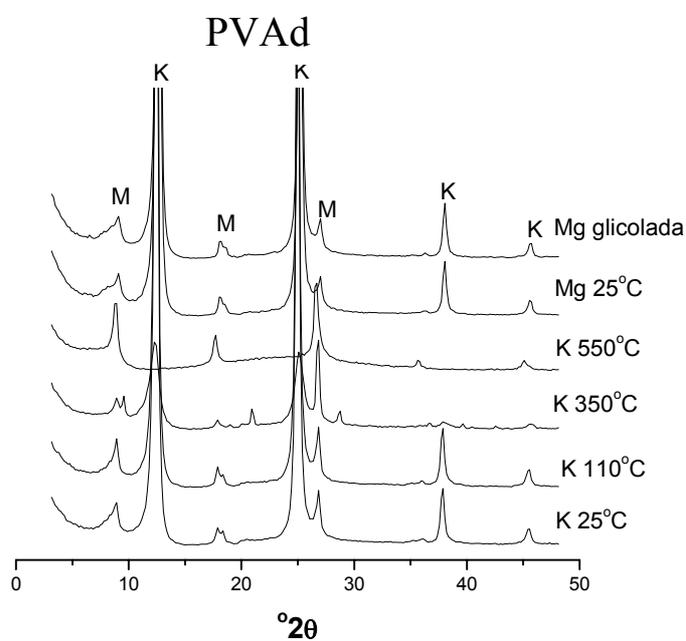


Figura 2 – Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte superficial do Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (K=caulinita; M=mica)

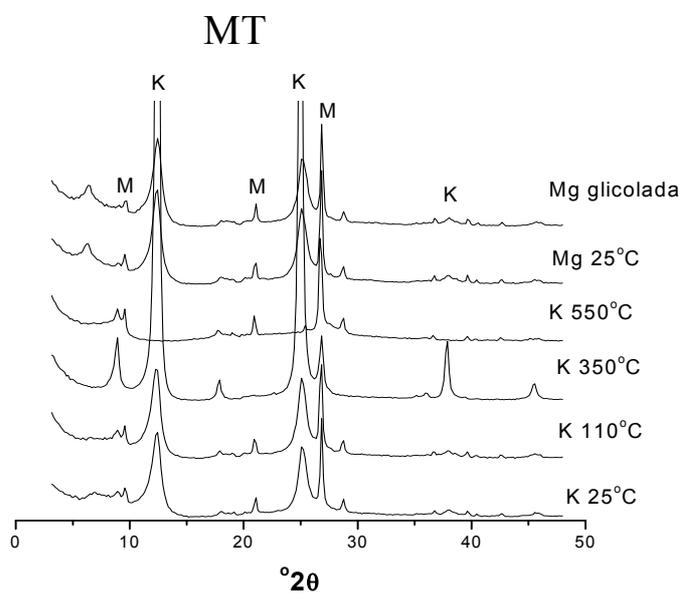


Figura 3 – Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte superficial do Chernossolo Argilúvico (K=caulinita; M=mica)

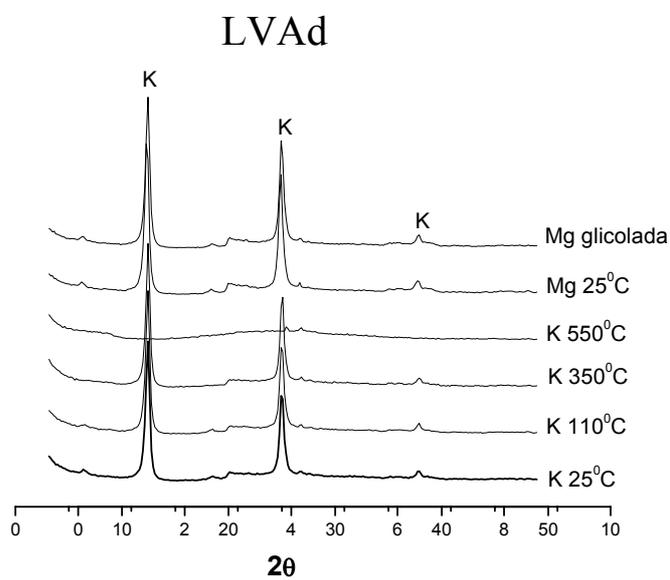


Figura 4 – Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte superficial do Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (K=caulinita)

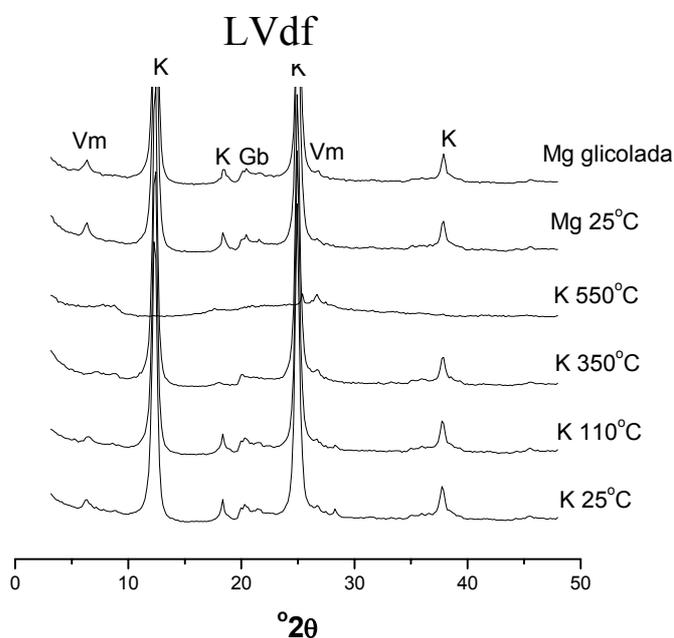


Figura 5 – Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte superficial do Latossolo Vermelho Distroférico (K=caulinita; Vm=vermiculita; Gb=gibbsita)

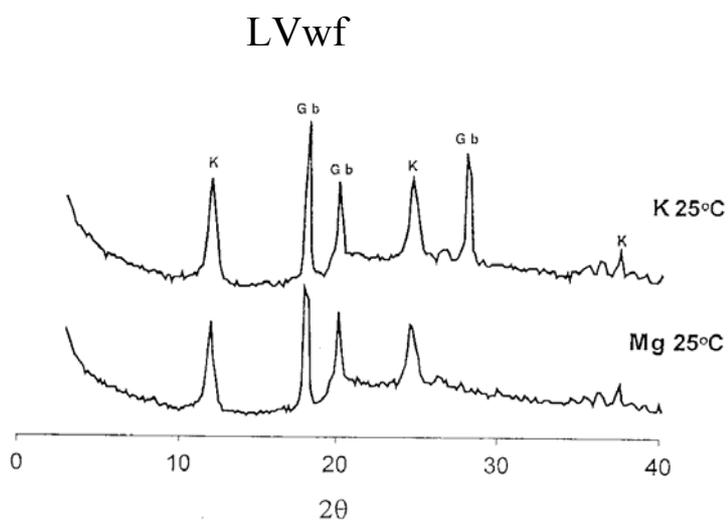


Figura 6 – Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte superficial do Latossolo Vermelho Acriférico (K=caulinita; Gb=gibbsita)

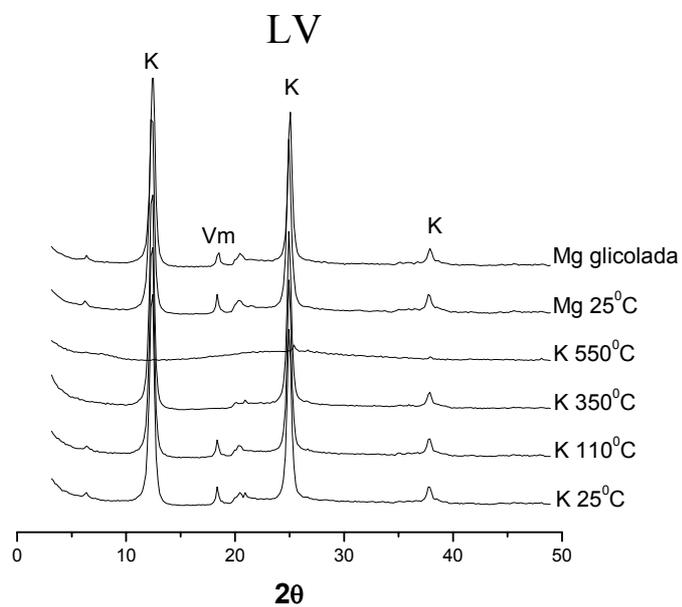


Figura 7 – Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte superficial do Latossolo Vermelho (K=caulinita; Vm=vermiculita)

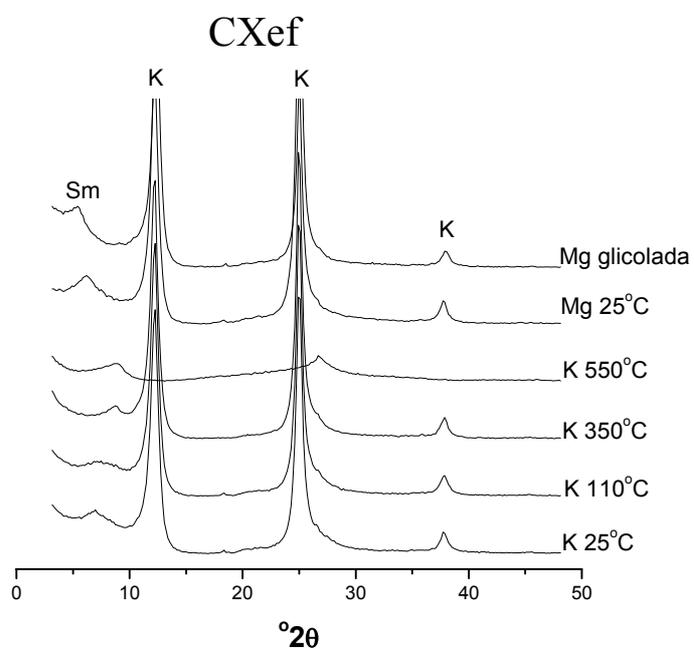


Figura 8 – Difratoograma de raios-X da fração argila deferrificada do horizonte superficial do Cambissolo Háplico Eutroférico (K=caulinita; Sm=esmectita)

O Argissolo e o Chernossolo apresentaram picos de mica além da caulinita. Comparando os Latossolos, o LVdf, LVwf e o LV, apresentaram picos de vermiculita, mostrando menor grau de intemperização quando comparado com o LVAd.

### 4.3 Fósforo remanescente

O valor do fósforo remanescente para o Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd) foi de  $39 \text{ mg L}^{-1}$ . Bedin et al. (2003) estudaram o efeito dos fertilizantes fosfatados na produção de soja (*Glycine max*) em solos com diferentes capacidades tampão de fosfato, a partir dos valores do fósforo remanescente de cada solo, foram definidas as doses de fósforo que seriam usadas.

### 4.4 Adsorção de fósforo

As curvas de adsorção de fósforo no solo LVAd são mostradas na Figura 9 e a adsorção máxima determinada pela equação de Langmuir foi de  $769,23 \text{ mg kg}^{-1}$ . A partir deste valor determinou-se o intervalo das doses de fósforo que foram usadas no experimento em casa-de-vegetação, concordando com o intervalo relatado por Alvarez & Fonseca (1990), os quais sugerem a amplitude de doses de fósforo de 0 a  $350 \text{ mg dm}^{-3}$ , para tal valor de adsorção máxima de fósforo em experimentos em casa-de-vegetação com *Brachiaria*.

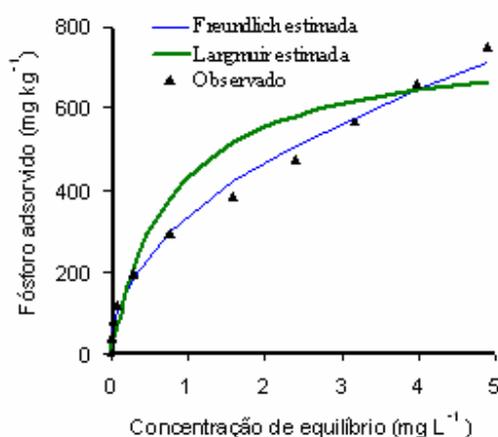


Figura 9 – Curvas de adsorção de fósforo usando os modelos de Freundlich, Langmuir e valores observados no laboratório, para amostra do solo LVAd

Independentemente das reações envolvidas na fixação dos fosfatos, o equilíbrio é admitido entre o fósforo localizado na fase sólida e aquele da fase líquida, e isotermas de adsorção como a de Langmuir e de Freundlich podem ser usadas para descrever esse mecanismo (Bittencourt & Zambello Jr., 1973). Bittencourt & Zambello Jr. (1975), trabalhando com amostras superficiais de um Latossolo Vermelho-Escuro e um Nitossolo, obtiveram 57,5% e 71,9%, respectivamente de retenção do fósforo para uma concentração inicial de fósforo de  $28 \mu\text{g g}^{-1}$ . Essas diferenças foram atribuídas principalmente às quantidades de óxidos de ferro livre presentes no solo.

#### 4.5 Pré-teste de incubação

Analisaram-se tanto a interação entre as doses de silício e de fósforo como os efeitos principais desses dois nutrientes, nas seguintes variáveis do solo: pH em  $\text{CaCl}_2$ , Si,  $\text{H+Al}^{+3}$ , V% e P.

A interação entre as doses de fósforo e silício não foi significativa para qualquer das variáveis-resposta, nas determinações químicas realizadas na terra do pré-teste de incubação. Dessa forma os efeitos foram analisados separadamente para fósforo e para silício, como pode ser visto nas Figuras 10 a 14.

O silício utilizado como wollastonita favoreceu o aumento do pH em  $\text{CaCl}_2$  (Figura 10), bem como do teor de silício disponível no solo (Figura 11), o que corrobora os resultados apresentados por outros autores (Korndörfer et al., 1999a e 1999b; Faria, 2000; Silva, 2001).

O pH em  $\text{CaCl}_2$  aumentou quase duas unidades com a dose de silício de  $450 \text{ mg dm}^{-3}$ . Faria (2000), aplicando a dose de silício de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  em um Latossolo Vermelho-Amarelo, verificou aumento de pH em  $\text{CaCl}_2$  de 4,6 para 5,1.

Leite (1997), usando uma solução aquosa tendo  $\text{SiCl}_4$  como fonte de Si, verificou aumento na disponibilidade de Si solúvel no solo extraído com  $\text{CaCl}_2$   $2,5 \text{ mmol L}^{-1}$ , sendo esse aumento de 5 a  $16 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si, respectivamente para as doses de silício de 0 a  $400 \text{ mg kg}^{-1}$ . O mesmo autor não relatou alteração no pH em  $\text{CaCl}_2$ , em função das doses de Si. Carvalho (1999) constatou aumento de Si solúvel em água em função do incremento nas doses aplicadas em um Latossolo Vermelho-Escuro, mas não

observou variação do pH em água quando aplicou silicato de cálcio nas doses de 0 a 340  $\text{mg dm}^{-3}$ .

Melo et al. (2003) verificaram aumentos nos teores de silício do solo, como consequência das doses de Si utilizadas como wollastonita. Esse aumento de silício foi de 5,8 a 27,9  $\text{mg dm}^{-3}$  de Si, respectivamente para as doses de silício de 0 a 1452  $\text{kg ha}^{-1}$ , mas não obteve alterações nos valores de pH em  $\text{CaCl}_2$ .

Korndörfer et al. (1999a), estudando o efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro em quatro solos (LRd, LVa, LEa e AQA), determinaram os maiores valores de silício disponível no solo LRd. Os autores apontam que isso se deve ao menor teor de óxidos de alumínio encontrados nesse solo, o que favorece menor adsorção de Si e maior disponibilidade do mesmo para a planta.

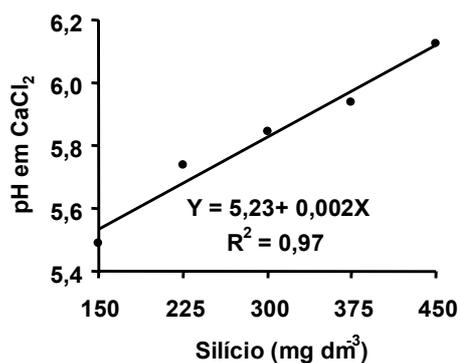


Figura 10 - Efeito das doses de silício no pH em  $\text{CaCl}_2$  do solo LVAd, após 15 dias de incubação do solo na capacidade de campo

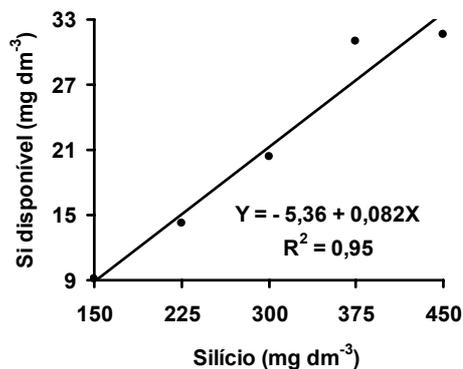


Figura 11 - Efeito das doses de silício no teor de silício disponível no solo LVAd, após 15 dias de incubação na capacidade de campo

A aplicação do silicato de cálcio, além de aumentar o pH em  $\text{CaCl}_2$ , reduziu o teor de  $\text{H}^+\text{Al}^{+3}$  no solo (Figura 12) e aumentou a porcentagem de saturação por bases do solo (Figura 13).

Analisando a Figura 12, observa-se que os valores de  $\text{H}^+\text{Al}^{+3}$  decresceram de 22,46 a 13,78  $\text{mmol dm}^{-3}$ , respectivamente, para as doses de silício de 150 a 450  $\text{mg dm}^{-3}$ . Para essas mesmas doses, a porcentagem de saturação por bases variou de 65,51 a 74,57% (Figura 13).

Silva (2001) obteve resultados semelhantes em relação ao pH e à porcentagem de saturação por bases, utilizando uma escória siderúrgica, a qual continha  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^+$ , P, S, Si e micronutrientes. Sanches (2003), após aplicação de silicato de cálcio de 6  $\text{Mg ha}^{-1}$  observou redução no teor de  $\text{H}^+\text{Al}^{+3}$  de 40,25 para 32,03  $\text{mmol dm}^{-3}$  e aumento na porcentagem por saturação de bases de 41,73 para 52,10%.

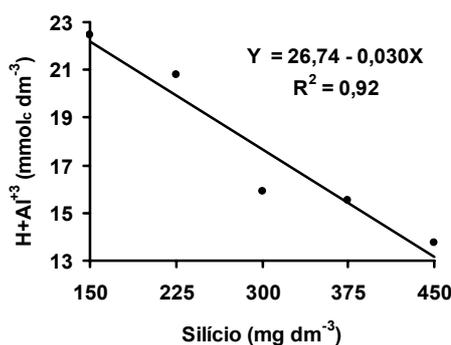


Figura 12 - Efeito das doses de silício na acidez potencial do solo LVAd, após 15 dias de incubação na capacidade de campo

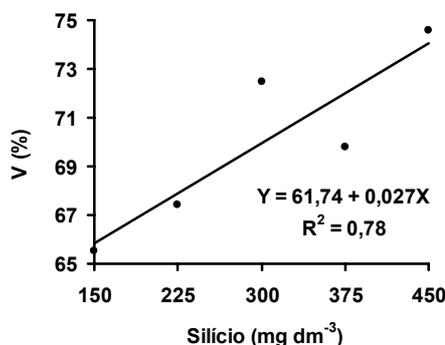


Figura 13 - Efeito das doses de silício na porcentagem de saturação por bases do solo LVAd, após 15 dias de incubação na capacidade de campo

Estudando-se o efeito do fósforo isoladamente, constatou-se que as doses desse nutriente aumentaram o teor de fósforo disponível (extraído por resina) no solo LVAd (Figura 14), mostrando a reatividade dos produtos químicos (fosfato de cálcio, fosfato de sódio e fosfato de potássio) utilizados como fonte de fósforo nesse experimento.

Analisando a equação da Figura 14, nota-se que o teor de fósforo disponível variou de 16,45 a 272,13 mg dm<sup>-3</sup>, para aplicação de doses de fósforo de 10 a 330 mg dm<sup>-3</sup> num solo que originalmente apresentava fósforo disponível de 5 mg dm<sup>-3</sup>. Carvalho (1999) trabalhando com um Latossolo Vermelho-Escuro não observou significância para as doses de silício na variação do teor de fósforo no solo.

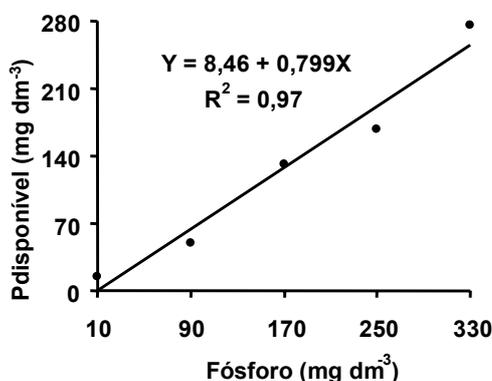


Figura 14 - Efeito das doses de fósforo nos teores de fósforo disponível no solo LVAd, após 15 dias de incubação na capacidade de campo

## 4.6 Experimento em casa-de-vegetação

### 4.6.1 Resultados da análise de solo

A análise de variância das características químicas do solo, nas ocasiões do primeiro e do segundo cortes, somente revelou significância para a interação entre as doses de fósforo e silício, para pH em CaCl<sub>2</sub> nas duas amostragens e para fósforo disponível, H+Al<sup>+3</sup> e V% na época do segundo corte.

O teor de silício disponível no solo após o primeiro corte (Figuras 15) foi quase duas vezes maior que o obtido no segundo corte (Figura 16). Pode-se explicar essa diferença pela extração do elemento na parte aérea das plantas no primeiro crescimento, pela maior concentração de silício na parte aérea no segundo crescimento, uma possível

adsorção do Si nas superfícies oxídicas e inativação do silício solúvel por precipitação. Resultado semelhante foi descrito por Carvalho (1999), que observou redução do Si solúvel com o passar do tempo, na dose de silício de  $340 \text{ mg dm}^{-3}$ , tendo constatado teores de silício de  $54,37$  e  $28,03 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente aos 60 e 90 dias após aplicação do silicato. O autor admitiu quatro explicações para o fato: adsorção às superfícies oxídicas, inativação por precipitação, absorção pelas plantas ou combinação destas.

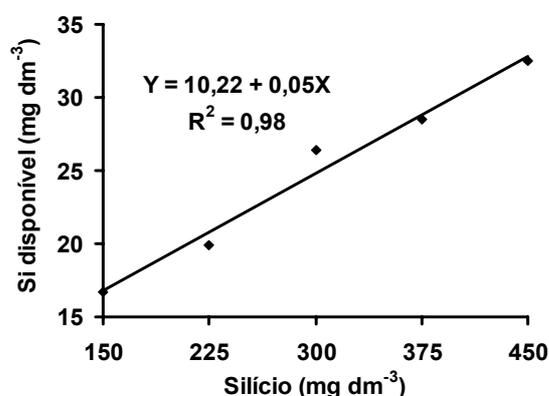


Figura 15 - Teor de silício disponível no solo LVAd, à época do primeiro corte das plantas, em função das doses de silício

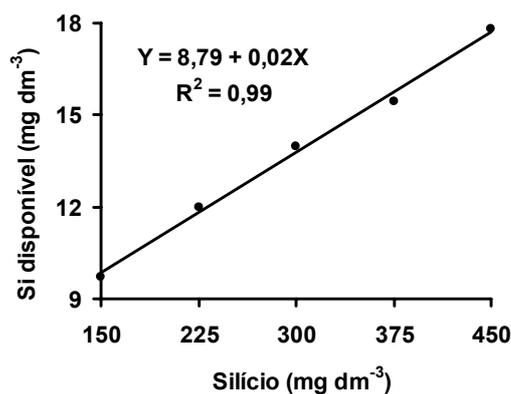


Figura 16 - Teor de silício disponível no solo LVAd, à época do segundo corte das plantas, em função das doses de silício

Korndörfer et al. (1999a) observaram que a aplicação de silicato de cálcio nas doses de silício de 0, 120, 240, 480 e 960 kg ha<sup>-1</sup>, como wollastonita, promoveu incrementos nos teores de silício solúvel em quatro solos estudados, sendo o maior incremento num Latossolo Roxo (de 10,5 mg dm<sup>-3</sup> para 22,9 mg dm<sup>-3</sup>) e o menor num Neossolo Quartzarênico (3,2 mg dm<sup>-3</sup> para 7,6 mg dm<sup>-3</sup>).

Barbosa et al. (2003) verificaram que o teor de silício disponível no solo foi incrementado de 1 para 14 mg kg<sup>-1</sup> após aplicação de silicato de cálcio e magnésio de 1000 kg ha<sup>-1</sup>. Cessa et al. (2004) aplicaram metassilicato de sódio (reagente analítico), fornecendo doses de Si que variaram de 0 a 400 mg dm<sup>-3</sup>, na presença (P=560 mg dm<sup>-3</sup>) e na ausência de fósforo. O silício solúvel do solo variou de 32,54 a 54,98 mg dm<sup>-3</sup> na presença do fósforo e de 15,62 a 35,42 mg dm<sup>-3</sup> na ausência de fósforo. Os mesmos autores não observaram a influência do silício nos teores de fósforo no solo, e verificaram que as doses de silício aumentaram o valor do pH em CaCl<sub>2</sub> do solo, sendo esse aumento mais significativo na presença do fósforo.

Na análise de variância para o pH em CaCl<sub>2</sub> da solução do solo, nas amostragens após o primeiro e o segundo cortes, verificou-se significância para a interação entre as doses de fósforo e de silício, ajustando-se os resultados ao modelo polinomial de regressão.

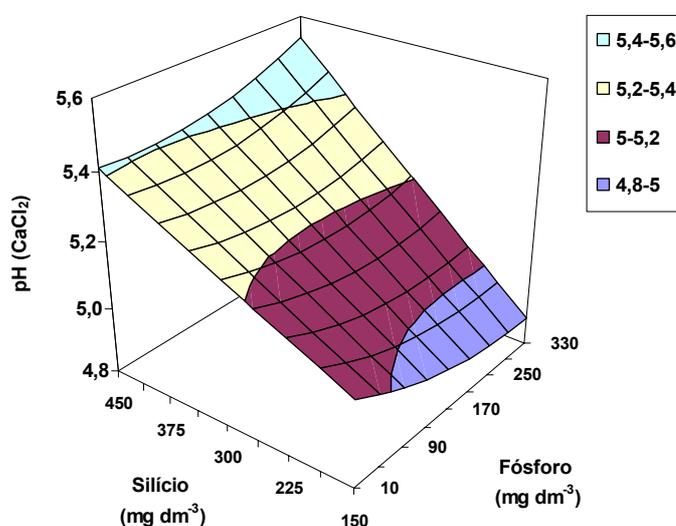
Analisando-se a superfície de resposta para o pH em CaCl<sub>2</sub> do solo, por ocasião do primeiro corte, observou-se que o maior pH ocorreu nas combinações de altas doses de silício (400 a 450 mg dm<sup>-3</sup>), em qualquer das doses de fósforo utilizadas (Figura 17). Nota-se que o ponto estacionário no gráfico é um ponto de sela e isso significa que não se atingiu o ponto de máximo pH com as combinações utilizadas desses dois elementos.

Faria (2000) observou aumento linear nos valores de pH em CaCl<sub>2</sub> do solo após aplicação de silicato de cálcio, variando de 4,6 para 5,1 num LVA, com as doses de silício de 0 e 600 kg ha<sup>-1</sup>.

Pereira & Korndörfer (2003), em estudo sobre fontes de silício para plantas, concluíram que o efeito positivo dos silicatos está normalmente associado ao aumento do silício disponível e do pH em solos com valores de pH em CaCl<sub>2</sub> baixos.

A correção da acidez do solo é efetuada com a aplicação de produtos que liberam ânions, capazes de neutralizar os prótons que promovem a acidificação ( $H^+$  e  $Al^{+3}$ ) da solução do solo. Dessa forma é necessário que sejam utilizados corretivos que possuam componentes básicos para gerar ânions e promover a neutralização da acidez. O uso do silicato como corretivo da acidez se deve ao aumento da concentração de hidroxilas (Alcarde, 1992).

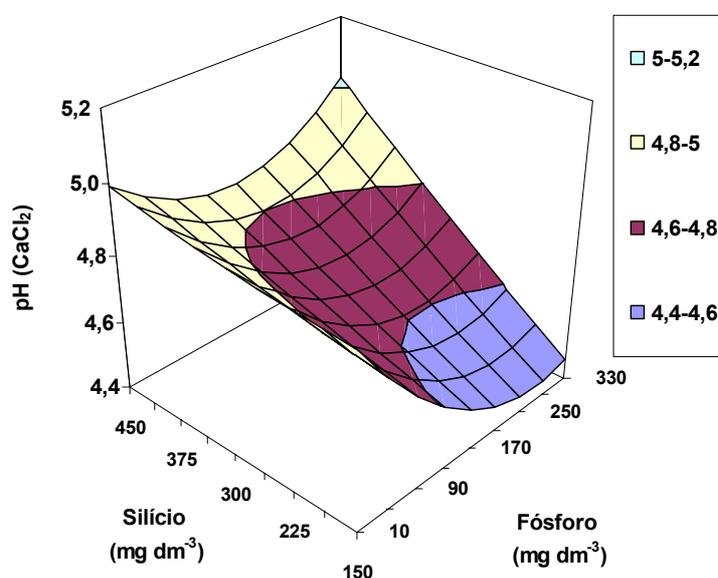
Os valores de pH em  $CaCl_2$  do solo na ocasião do segundo corte foram inferiores (em torno de 0,4 unidades) em relação ao primeiro corte. Uma possível explicação estaria na liberação de prótons pelas raízes das plantas, ou seja, no intuito de manter um equilíbrio aniônico interno, à medida que a planta absorve cátions, ela elimina prótons  $H^+$  pelas raízes, o que provocaria diminuição no pH da solução do solo (Malavolta et al., 1997). Sanches (2003) observou aumento no pH em  $CaCl_2$  de 4,45 para 4,97 após aplicação de silicato de cálcio de  $6 \text{ Mg ha}^{-1}$  num Latossolo Vermelho Distrófico.



$$Y = 4,911 + 0,00104*Si - 0,00164*P + 0,00000018*Si*Si + 0,0000031*P*Si + 0,0000019*P*P$$

$$R^2 = 0,82$$

Figura 17 – pH do solo LVAd em  $CaCl_2$ , na ocasião do primeiro corte das plantas, em função das combinações das doses silício e de fósforo



$$Y = 4,9307 - 0,00004*Si - 0,00427*P + 0,0000005*Si*Si + 0,0000049*P*Si + 0,0000063*P*P$$

$$R^2 = 0,62$$

Figura 18 - pH do solo LVAd em CaCl<sub>2</sub>, na ocasião do segundo corte das plantas, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

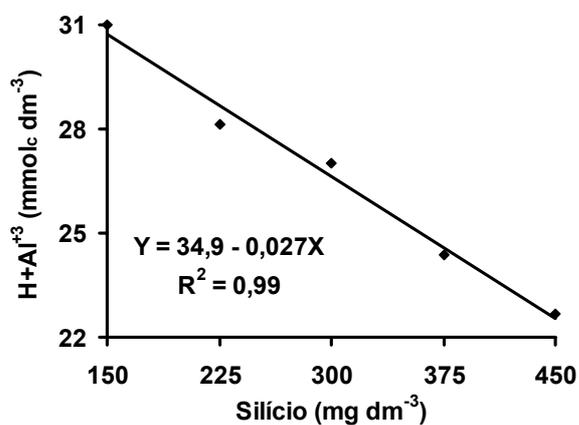
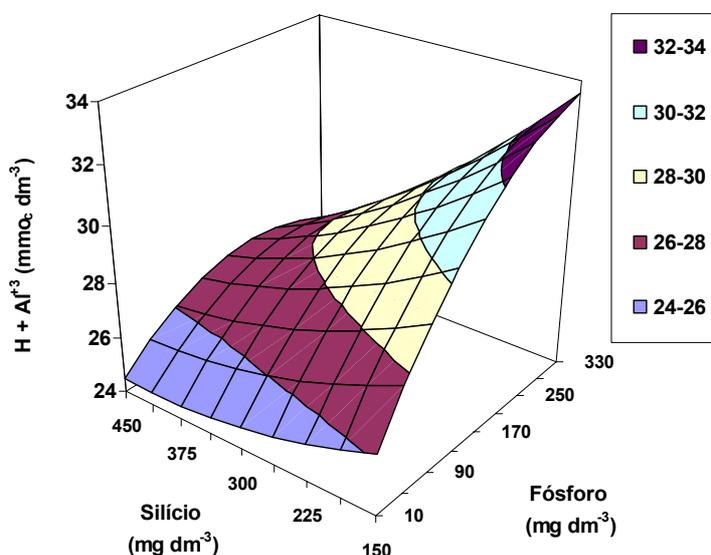


Figura 19 - Acidez potencial do solo LVAd, na ocasião do primeiro corte das plantas, em função das doses de silício

O aumento do pH em  $\text{CaCl}_2$  promoveu a redução da acidez potencial do solo tanto na época do primeiro (Figura 19) quanto do segundo corte do capim-Marandu (Figura 20). Korndörfer & Nolla (2003), em estudo sobre o efeito do silício no crescimento e desenvolvimento de plantas, verificaram redução do efeito tóxico do alumínio no solo devido à adição de Si.

Faria (2000) observou diminuição no teor de alumínio no solo de 8 para 2  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$  e aumento no pH em  $\text{CaCl}_2$  de 4,2 para 4,8 no Neossolo Quartzarênico e de alumínio de 2 para 0  $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$  e aumento no pH em  $\text{CaCl}_2$  de 4,6 para 5,1 no Latossolo Vermelho-Amarelo, com as doses de silício aplicadas.

As doses de silício também favoreceram o aumento da porcentagem de saturação por bases do solo (Figuras 21 e 22). Esses resultados corroboram os obtidos por Arantes (1997), em estudo sobre aplicação de silício para arroz de sequeiro, ao verificar aumento da porcentagem de saturação por bases do solo (17% para 40%) após aplicação da wollastonita.



$$Y = 28,0985 - 0,01946 * \text{Si} + 0,05186 * \text{P} + 0,00002 * \text{Si} * \text{Si} - 0,000059 * \text{P} * \text{Si} - 0,000058 * \text{P} * \text{P}$$

$$R^2 = 0,61$$

Figura 20 – Acidez potencial do solo LVAd, na ocasião do segundo corte das plantas, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

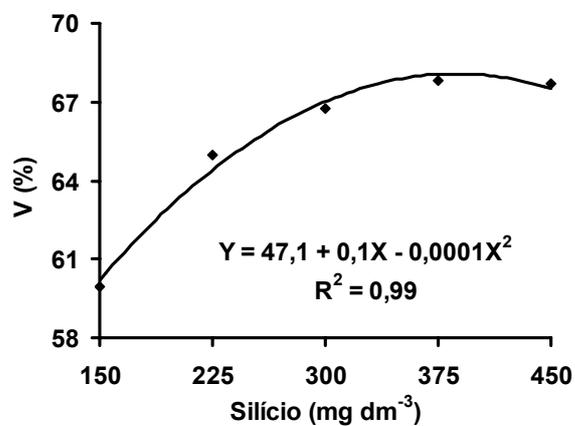
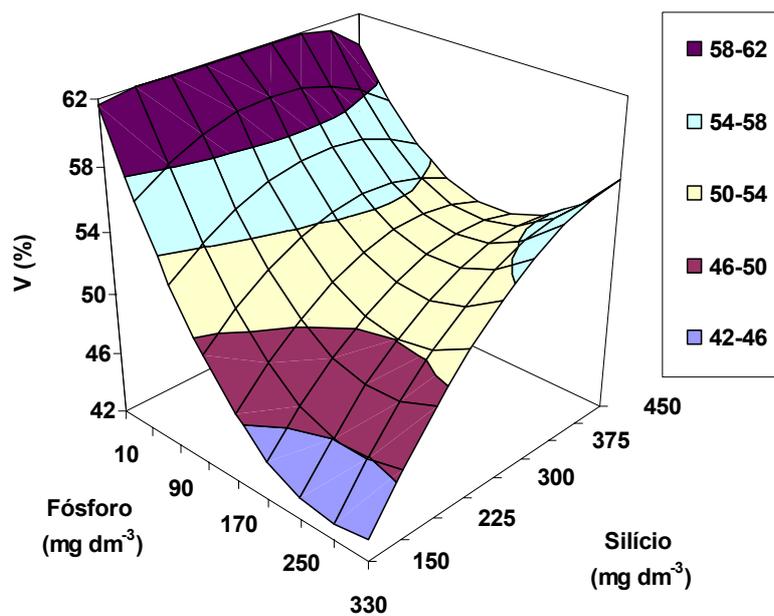


Figura 21 – Porcentagem de saturação por bases no solo LVAd, na ocasião do primeiro corte das plantas, em função das doses de silício



$$Y = 54,6053 + 0,077362*Si - 0,162063*P - 0,000141*Si*Si + 0,00016*P*Si + 0,00024*P*P$$

$$R^2 = 0,58$$

Figura 22 – Porcentagem de saturação por bases no solo LVAd, na ocasião do segundo corte das plantas, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

O teor de fósforo disponível no solo apresentou comportamento diferenciado entre as épocas do primeiro e do segundo corte das plantas. A interação entre as doses de fósforo e as doses de silício não foi significativa para o teor de fósforo disponível no solo no primeiro corte, quando foi verificada significância apenas para as doses de fósforo aplicadas ao solo, as quais ajustaram-se ao modelo de regressão de segundo grau (Figura 23). Na época do segundo corte do capim-Marandu observou-se significância para a interação entre as doses de fósforo e as doses de silício.

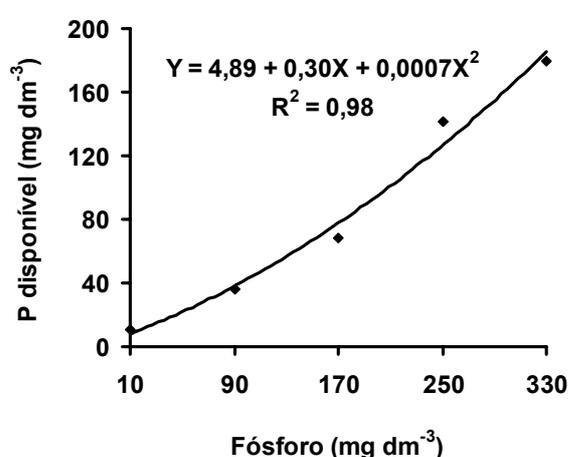


Figura 23 – Fósforo disponível no solo LVAd, na ocasião do primeiro corte das plantas, em função das doses de fósforo

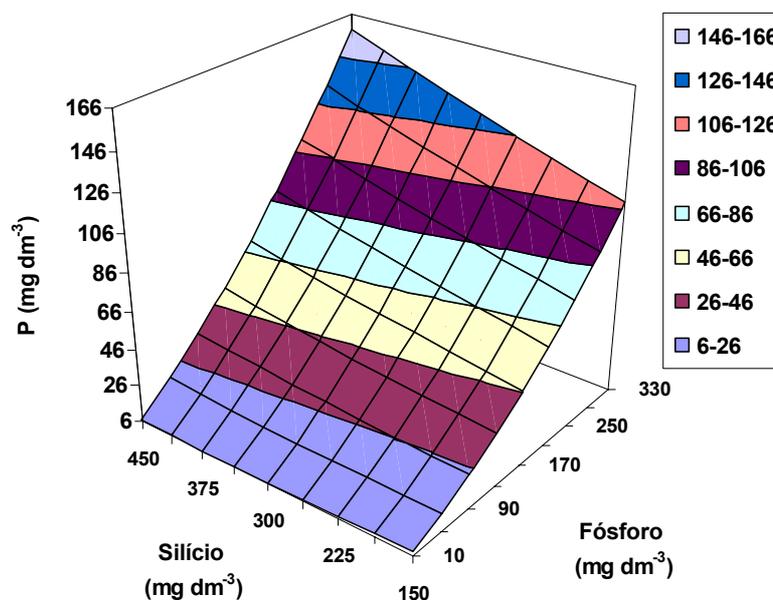
Na amostragem do solo após o segundo corte das plantas, a combinação das doses de silício e fósforo foi responsável pela variação no teor de fósforo disponível do solo. A dose de silício de 412,5 mg dm<sup>-3</sup> combinada com a dose de fósforo de 330 mg dm<sup>-3</sup> proporcionou o maior aumento de fósforo disponível. Segundo Plucknett (1971), a aplicação de silicato aumenta a solubilidade de fósforo no solo e diminui a fixação desse elemento contido nos adubos fosfatados.

Rossi (1995) obteve teores médios de fósforo disponível no solo, extraídos pela resina, variando de 12,52 a 165,73 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente para as doses de fósforo de 50 a 700 mg dm<sup>-3</sup>, proveniente de superfosfato triplo.

Smyth & Sanchez (1980) observaram redução na adsorção de fósforo de 18 a 24% nas amostras de solo incubadas por seis meses com calcário e silicato de cálcio, respectivamente.

Segundo Baldeon (1995) e Carvalho (1999) o aporte de fósforo em função da aplicação de silicatos ocorre devido ao somatório de dois fatores: o poder corretivo (alcalinizante) dos silicatos e a competição Si x P pelos mesmos sítios de adsorção nos solos, interação que não ocorre quando se utiliza somente o calcário.

Leite (1997) observou aumento nos teores extraídos de fósforo à medida que elevou as doses de silício e a magnitude desse incremento de fósforo foi da ordem 4 mg dm<sup>-3</sup>.



$$Y = 12,8701 - 0,0475*Si + 0,070795*P + 0,0000598*Si*Si + 0,00054*P*Si + 0,00047*P*P$$

$$R^2 = 0,92$$

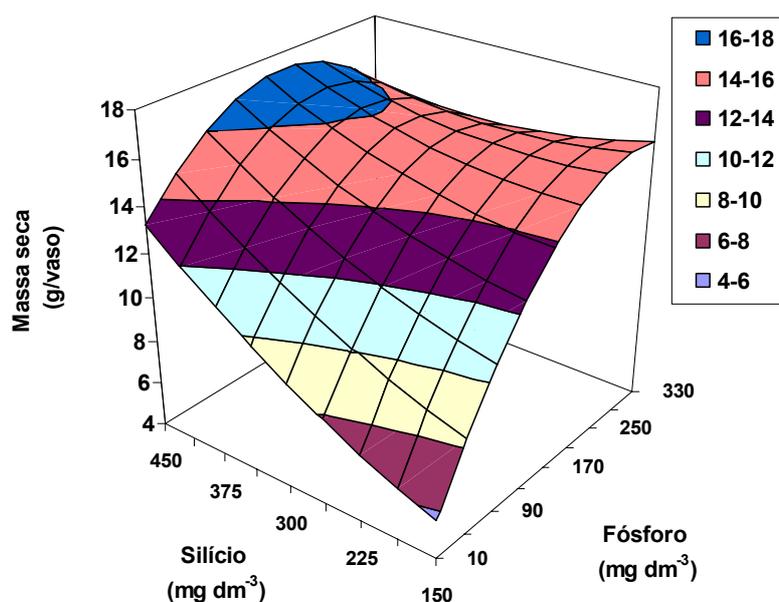
Figura 24- Fósforo disponível no solo LVAd, na ocasião do segundo corte das plantas, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

#### 4.6.2 Produção de massa seca da forrageira

A interação entre as doses de fósforo e de silício mostrou-se significativa para a produção de massa seca da parte aérea do capim-Marandu nos dois cortes, ajustando-se ao modelo polinomial de regressão.

No primeiro corte, de acordo com a equação da superfície de resposta, a máxima produção de massa seca ocorreria na dose de fósforo de  $90 \text{ mg dm}^{-3}$  associada à dose de silício de  $450 \text{ mg dm}^{-3}$  (Figura 25). A produção de massa seca da parte aérea com baixo suprimento de fósforo e de silício foi 2,6 vezes mais baixa em relação à dose que promoveria a máxima produção de massa seca.

O estudo da superfície de resposta da massa seca da parte aérea, no primeiro corte, mostrou que em condições de doses médias de fósforo combinadas com doses altas de silício, a produção de massa seca da parte aérea superou a alcançada com as maiores doses de fósforo com baixa adição de silício. Esses resultados mostram que se pode economizar na adubação fosfatada quando se aplica silicato de cálcio em conjunto com o fósforo, para o capim-Marandu.



$$Y = 3,1821 + 0,007308*Si + 0,08589*P + 0,000031*Si*Si - 0,000086*P*Si - 0,00012*P*P$$

$$R^2 = 0,72$$

Figura 25 – Produção de massa seca da parte aérea do capim-Marandu, na ocasião do primeiro corte das plantas, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

Corrêa (1991) verificou resposta acentuada do capim-Marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo álico, quanto à produção de massa seca no primeiro corte, com o aumento das doses de fósforo, até o equivalente a  $140 \text{ mg dm}^{-3}$ . Rossi (1995) também observou respostas na produção de massa seca desse mesmo capim até a dose de  $300 \text{ mg dm}^{-3}$  e até  $700 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente para o superfosfato triplo e para o fosfato de Araxá.

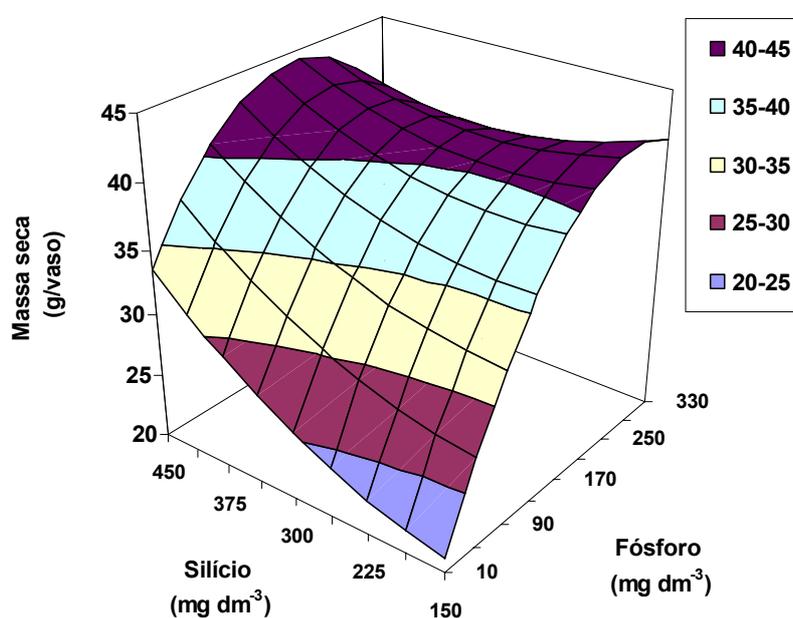
Couto et al. (1982) constataram aumentos na produção de massa seca de *Andropogon gayanus*, da ordem de 4,48; 5,51; 6,59 e  $7,86 \text{ Mg ha}^{-1}$ , respectivamente com a aplicação de  $\text{P}_2\text{O}_5$  de 60, 120, 180 e  $240 \text{ kg ha}^{-1}$ , na forma de superfosfato triplo num Latossolo Vermelho-Escuro argiloso, em relação a não aplicação de fósforo.

Rossi & Monteiro (1999) verificaram efeito das doses de fósforo em solução nutritiva na produção de massa seca dos capins braquiária (*Brachiaria decumbens*) e colônia (*Panicum maximum*), mantendo aumento linear com o incremento das doses de fósforo independente da época de amostragem das plantas. Também Almeida (1998), ao estudar o efeito das doses de fósforo em solução, visando a produção do capim-braquiária, obteve acréscimo linear na produção de massa seca da parte aérea por ocasião do primeiro crescimento desse capim.

Analisando a produção de massa seca no segundo corte (Figura 26), observa-se comportamento semelhante ao primeiro corte, isto é, doses medianas de fósforo ( $170 \text{ mg dm}^{-3}$ ) combinadas com altas doses de silício ( $450 \text{ mg dm}^{-3}$ ) apresentaram a máxima produção de massa seca.

A produção de massa seca do capim-Marandu no segundo corte foi maior em relação ao primeiro corte. Pode-se atribuir essa diferença ao fato de no primeiro crescimento a planta destinar mais energia para a formação e estabelecimento da estrutura da parte aérea e do sistema radicular ao passo que no segundo crescimento a planta tinha todo o sistema radicular formado, podendo a planta destinar energia para a produção e manutenção da parte aérea. Esse mesmo comportamento foi constatado por Santos (1999) com o capim-Braquiária (*Brachiaria decumbens*) e por Lavres Jr. (2001) com o capim-Mombaça (*Panicum maximum*).

Combinando a menor dose de fósforo com a maior dose de silício, a produção de massa seca foi de 1,63 vezes maior que as obtidas nas menores doses de fósforo e de silício. Para a maior dose de fósforo (330 mg dm<sup>-3</sup>) o aumento nas doses de silício não alterou a produção de massa seca. Isso mostra a maior eficiência de resposta à aplicação de silício quando na presença de baixa dose de fósforo, ou seja, altas doses de silício aumentam o efeito de doses medianas de fósforo na produção de massa seca do capim-Marandu.



$$Y = 18,9586 - 0,009717 * Si + 0,189519 * P + 0,000088 * Si * Si - 0,000154 * P * Si - 0,000303 * P * P$$

$$R^2 = 0,66$$

Figura 26 – Produção de massa seca da parte aérea do capim-Marandu, na ocasião do segundo corte das plantas, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

Monteiro et al. (1993), avaliando os efeitos do suprimento de fósforo em solução nutritiva para a *Brachiaria decumbens*, relataram expressivo aumento na produção de massa seca, em função das doses de fósforo na solução. Num experimento com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em solução nutritiva completa e com omissão individual de nutrientes, Monteiro et al. (1995) verificaram que a omissão de fósforo

inibiu por completo o perfilhamento e limitou a produção de massa seca da parte aérea da forrageira.

Almeida et al. (1996), comparando a influência de duas doses de calcário (1000 e 4000 kg ha<sup>-1</sup>) e duas doses de fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> = 35 e 140 kg ha<sup>-1</sup>) mais o controle, em um Latossolo argiloso, em condições de casa-de-vegetação, nas respostas dos cultivares Basilisk e Marandu e de mais oito acessos de *Brachiaria* sp., relataram que o fósforo foi um fator determinante na produção de massa seca.

Silva (1996), estudando os efeitos do suprimento de fósforo na produção da *Brachiaria brizantha* e da *Brachiaria decumbens*, constatou que o incremento nas doses de fósforo resultou em aumento na produção da massa seca da parte aérea e das raízes dos capins.

Corrêa & Haag (1993) observaram diferentes comportamento entre a *Brachiaria decumbens* e a *B. brizantha* em resposta à adubação fosfatada, quando cultivadas num Latossolo Vermelho-Amarelo Álico. Para produzir 3000 kg ha<sup>-1</sup> de massa seca, houve necessidade de adicionar P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ao solo em 25 e 130 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente para a *B. decumbens* e *B. brizantha*, evidenciando a necessidade de separar as gramíneas forrageiras em grupos, segundo seu grau de exigência em fósforo.

Korndörfer et al. (2001), em trabalho de campo na região do Triângulo Mineiro, utilizando um Latossolo Vermelho-Amarelo, observaram aumento de 17% na produção de massa seca da *Brachiaria decumbens* após aplicação superficial de silicato de cálcio de 2000 kg ha<sup>-1</sup>.

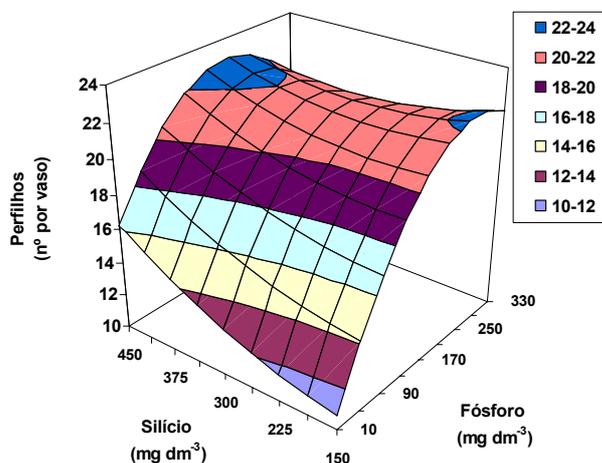
Os resultados de produção de massa seca do capim-Marandu mostraram o efeito benéfico do silício e a associação positiva da adubação com silício e fósforo. Nos dois cortes das plantas a presença de altas doses de silício em conjunto com doses medianas de fósforo resultou em aumento na produção de massa seca dessa espécie, mostrando uma possível economia com adubação fosfatada quando aplicado em conjunto com silicato de cálcio.

#### 4.6.3 Número de perfilhos e folhas na forrageira

A análise de variância para o número total de perfilhos e de folhas verdes expandidas no primeiro e segundo cortes mostrou significância para a interação entre as doses de silício e fósforo, com ajuste a modelo polinomial de regressão.

Pode-se observar na Figura 28 que, no primeiro crescimento do capim, o maior número de perfilhos por vaso ocorreu em duas regiões distintas do gráfico: na menor dose de silício ( $150 \text{ mg dm}^{-3}$ ) combinada com a maior dose de fósforo ( $330 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e, na região próxima a maior dose de silício ( $450 \text{ mg dm}^{-3}$ ) combinada com doses medianas de fósforo ( $170$  e  $250 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

No segundo crescimento das plantas, o número de perfilhos por vaso foi superior quando comparado com o primeiro crescimento (Figuras 28 e 29). Como explicado anteriormente, isso se deve ao fato da planta estar formada e conseqüentemente com maior capacidade de absorver os nutrientes, no segundo crescimento. Outro ponto a ser considerado é o fato de já ter sido realizado o primeiro corte, onde provavelmente a gema apical foi retirada, e as gemas basais foram estimuladas, favorecendo maior produção de perfilhos.



$$Y = 9,4999 - 0,00243*Si + 0,10288*P + 0,0000353*Si*Si - 0,0000712*P*Si - 0,00017*P*P$$

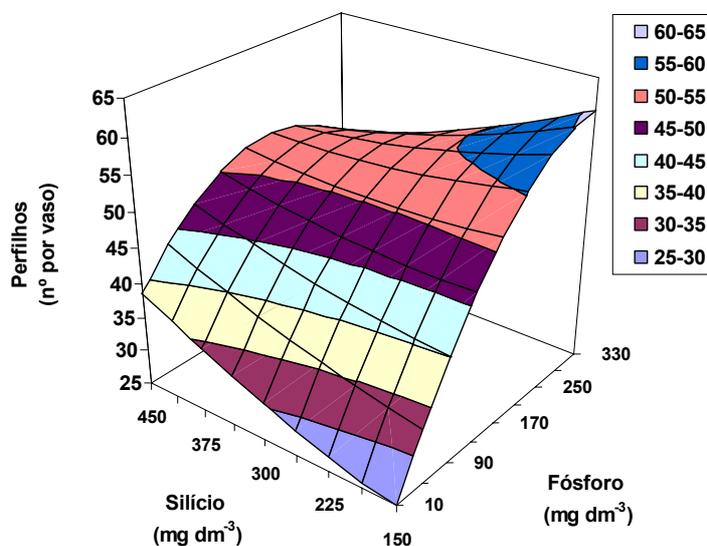
$$R^2 = 0,64$$

Figura 28 – Número total de perfilhos por vaso, na ocasião do primeiro corte do capim-Marandu, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

De acordo com Werner (1986), o fósforo é um nutriente muito importante para as forrageiras, sobretudo nos períodos iniciais de desenvolvimento da planta e com grande influência no perfilhamento. O mesmo autor também especificou que a baixa disponibilidade de fósforo no solo não permite bom perfilhamento e as plantas apresentam crescimento lento. Hodgson (1990) definiu o perfilho como a unidade vegetativa básica das gramíneas. A renovação de perfilhos em pastagem ocorre com a remoção do ápice da planta, o que favorece a ativação das gemas basais, aumentando o número de perfilhos (Lemaire & Chapman, 1996). Meirelles et al. (1988) observaram efeito das doses de fósforo no perfilhamento do capim-colonião (*Panicum maximum*), tanto no primeiro como no segundo corte.

Rossi (1999) não observou diferença no número de perfilhos do capim-Braquiária, nas doses de fósforo de 0,31 a 3,10 mg L<sup>-1</sup>, sendo que o aumento no número de perfilhos só foi verificado a partir da dose de fósforo de 9,3 mg L<sup>-1</sup>. Corrêa (1991) constatou aumento no número de perfilhos no capim-Marandu em função das doses de fósforo tendo, o número de perfilhos se elevado de 10 para 45 e de 11 para 59 com a dose de fósforo de 0 para 560 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente, no primeiro e segundo crescimento.

Monteiro et al. (1995) estudaram o comportamento do capim-Marandu cultivado em solução nutritiva com tratamento completo e com a omissão de cada nutriente e, constataram que a omissão de fósforo na solução nutritiva foi o tratamento que mais limitou o perfilhamento lateral, apresentando apenas um colmo de cada planta por vaso, sendo que o número de perfilhos por vaso no tratamento completo foi de 25 e no tratamento com omissão de fósforo foi de 5, igualando-se ao tratamento controle.



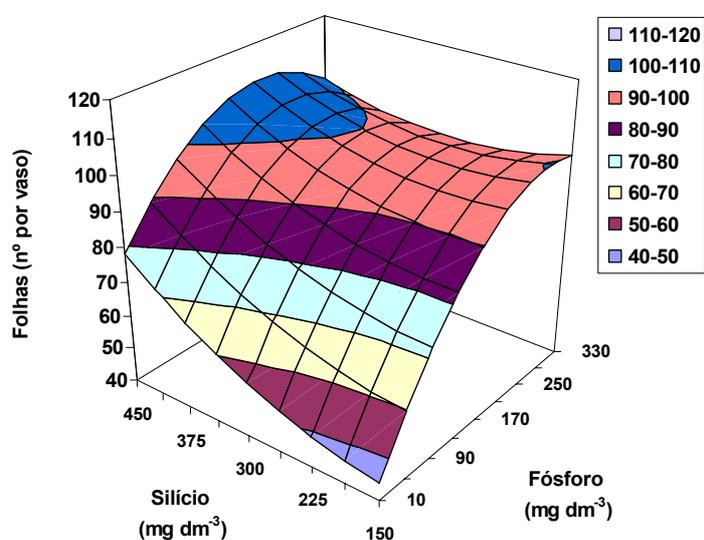
$$Y = 18,0149 + 0,01951 * Si + 0,2746 * P + 0,0000517 * Si * Si - 0,00029 * P * Si - 0,000345 * P * P$$

$$R^2 = 0,62$$

Figura 29 – Número total de perfíhos por vaso, na ocasião do segundo corte do capim-Marandu, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

Quanto ao número de folhas verdes expandidas verificou-se significância para a interação entre as doses de fósforo e de silício, para ambos os cortes, com ajuste dos resultados a modelo polinomial de regressão.

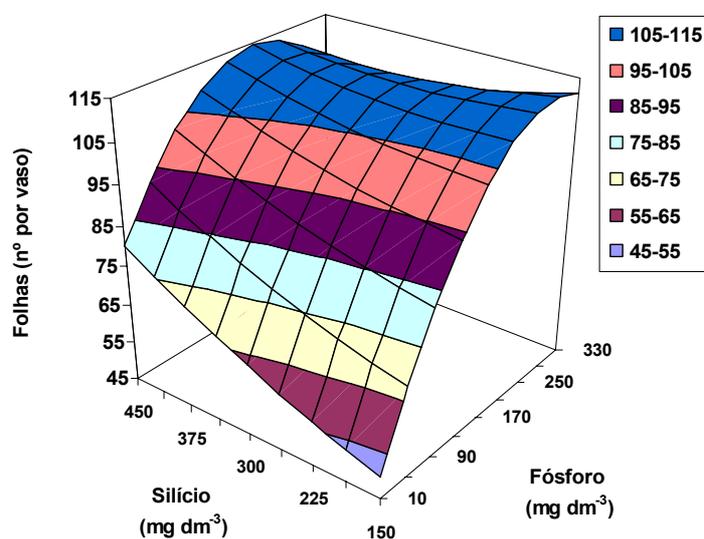
Na ocasião do primeiro corte, o fornecimento de doses de silício combinadas com a menor dose de fósforo resultou em aumento no número de folhas verdes expandidas por vaso. O maior número de folhas verdes expandidas foi alcançado na dose de fósforo de 130 mg dm<sup>-3</sup> combinada com a maior dose de silício, e com o aumento das doses de fósforo nota-se que o maior número de folhas por vaso foi alcançado nas doses medianas de silício. Esses resultados novamente confirmam a maior eficiência da adubação silicatada em presença de doses medianas de fósforo (Figura 30).



$$Y = 41,4266 - 0,04064*Si + 0,4557*P + 0,000257*Si*Si - 0,000326*P*Si - 0,000698*P*P$$

$$R^2 = 0,74$$

Figura 30 – Número total de folhas por vaso, na ocasião do primeiro corte do capim-Marandu, em função das combinações das doses de silício e de fósforo



$$Y = 37,4461 + 0,04101*Si + 0,537885*P + 0,00010*Si*Si - 0,00040*P*Si - 0,000845*P*P$$

$$R^2 = 0,64$$

Figura 31 – Número total de folhas por vaso, na ocasião do segundo corte do capim-Marandu, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

O estudo da superfície de resposta da produção de folhas verdes expandidas por vaso, na ocasião do segundo crescimento, demonstrou que aplicando-se a dose de silício de  $300 \text{ mg dm}^{-3}$  o maior número de folhas somente ocorria com a dose de fósforo de  $210 \text{ mg dm}^{-3}$ . Quando a dose de silício era de  $375 \text{ mg dm}^{-3}$  ou maior, a doses de fósforo para o maior número de folhas diminuía, ou seja, com dose de fósforo pouco maior que  $90 \text{ mg dm}^{-3}$  (Figura 31).

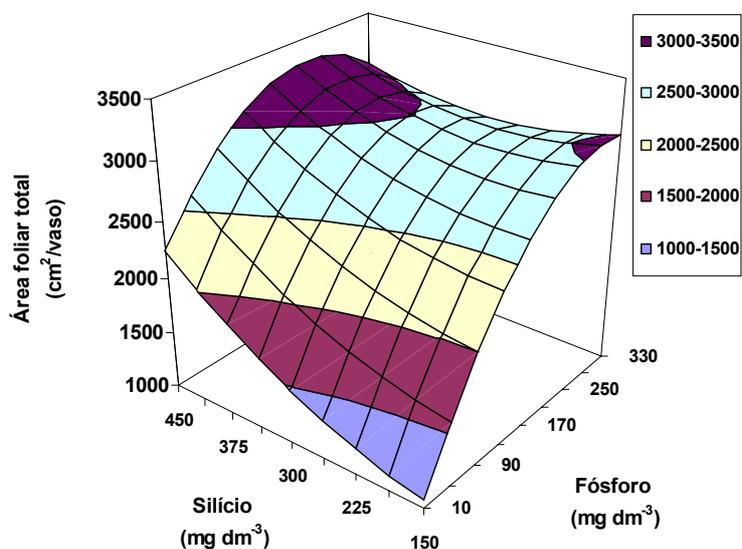
#### 4.6.4 Área foliar da forrageira

Para a área foliar total do capim-Marandu a interação entre as doses de fósforo e de silício foi significativa, tanto no primeiro como no segundo corte. Na ocasião do primeiro corte a área foliar total do capim-Marandu ajustou-se ao modelo polinomial de regressão (Figura 32) com o fornecimento de fósforo e silício no solo. Na combinação das doses mais elevadas de fósforo e de silício, a área foliar total do capim foi 2,8 vezes superior à área foliar total obtida com as duas menores doses de fósforo e de silício.

De acordo com a Figura 32, observa-se que a combinação entre as doses de fósforo e de silício para a maior área foliar apareceu em duas áreas distintas, e ainda nota-se com clareza a formação de um ponto de sela. A partir da dose de silício de  $375 \text{ mg dm}^{-3}$  combinada com as doses de fósforo variando de pouco mais de 90 a  $330 \text{ mg dm}^{-3}$ , apresentaram a maior área foliar, além da combinação da maior dose de fósforo ( $330 \text{ mg dm}^{-3}$ ) com a menor dose de silício ( $150 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

No segundo crescimento, a área foliar total foi maior em relação ao primeiro corte. Como foi discutido anteriormente, isso se deve ao fato da planta estar formada e poder direcionar as reservas das raízes e colo para a parte aérea (Figura 33).

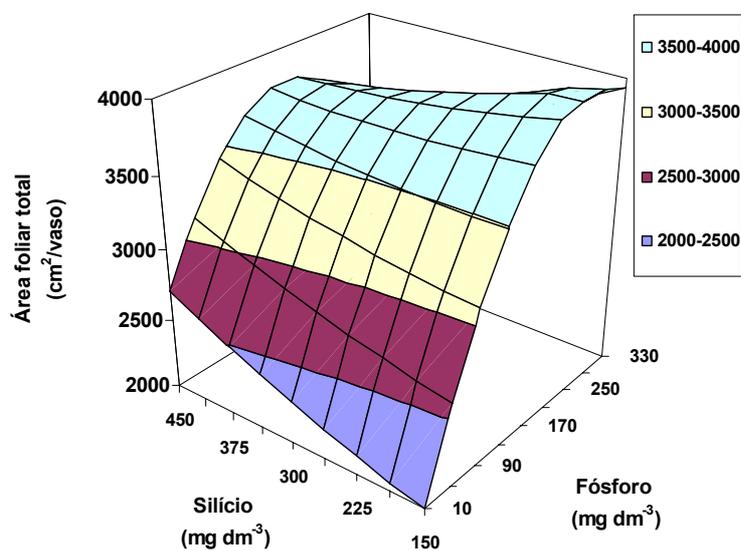
De acordo com o estudo da superfície de resposta constatou-se que a partir da dose de fósforo de  $130 \text{ mg dm}^{-3}$  combinada com qualquer dose de silício o capim mostrou maior área foliar, na ocasião do segundo corte. O maior valor da área foliar total foi cerca de 2 vezes superior em relação ao valor mínimo



$$Y = 869,2880 - 0,805276*Si + 15,78944*P + 0,00807*Si*Si - 0,012077*P*Si - 0,02304*P*P$$

$$R^2 = 0,60$$

Figura 32 – Área foliar do capim-Marandu no primeiro corte das plantas, em função das combinações das doses de silício e de fósforo



$$Y = 1570,0878 + 1,3316*Si + 19,38165*P + 0,00206*Si*Si - 0,01557*P*Si - 0,03223*P*P$$

$$R^2 = 0,55$$

Figura 33 – Área foliar do capim-Marandu no segundo corte das plantas, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

A área foliar é um importante parâmetro para a análise de crescimento e desenvolvimento das plantas, pois normalmente quanto maior a área foliar maior pode ser a superfície de exposição à luz solar, maior a taxa fotossintética e conseqüentemente maior a produção de massa da forrageira. Os resultados comprovam o efeito positivo da combinação entre as doses de fósforo e de silício para o aumento da área foliar do capim-Marandu, principalmente no primeiro crescimento. No segundo crescimento o aumento da área foliar foi mais dependente do fornecimento de doses de fósforo em si.

#### 4.6.5 Comprimento total e superfície total do sistema radicular

Na análise de variância para a superfície total e comprimento total de raízes por vaso do capim-Marandu não se observou significância para a interação entre as doses de fósforo e de silício. Entretanto, foi observada significância para as doses de fósforo isoladamente.

Para a superfície total das raízes a análise de variância ajustou-se a modelo linear de regressão, de tal modo que a maior dose de fósforo empregada ( $330 \text{ mg dm}^{-3}$ ) resultou na maior superfície do sistema radicular do capim-Marandu (Figura 34).

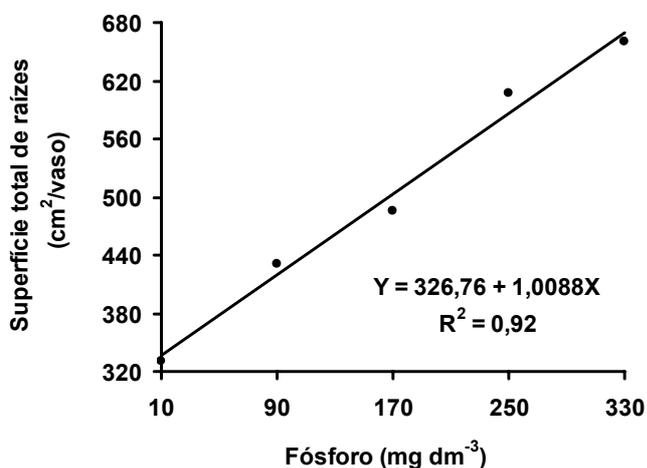


Figura 34 – Superfície total do sistema radicular do capim-Marandu, em função das doses de fósforo

A análise de variância para o comprimento do sistema radicular do capim-Marandu mostrou ajuste para modelo linear de regressão, e conseqüentemente o maior comprimento também foi observado na dose de fósforo de 330 mg dm<sup>-3</sup>.

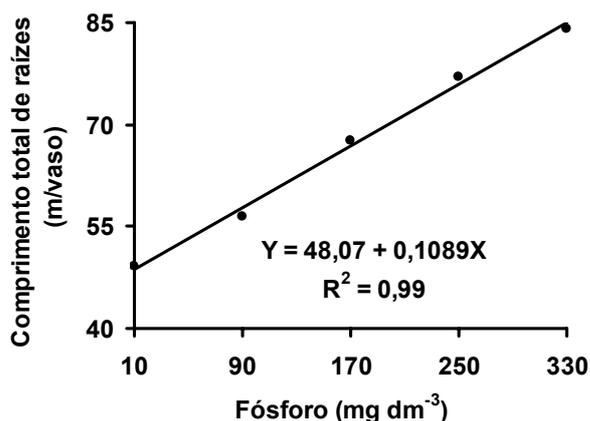


Figura 35 – Comprimento total do sistema radicular do capim-Marandu, em função das doses de fósforo

Santos (2003), trabalhando com relações de nitrato e amônio em solução nutritiva, verificou que o maior valor de superfície total das raízes do capim-Marandu, aproximou-se de 1200 m<sup>2</sup>/vaso. Esse mesmo autor constatou que o comprimento total do sistema radicular ficou abaixo de 25 m/vaso.

#### 4.6.6 Concentração dos elementos na planta

##### 4.6.6.1 Fósforo

Na concentração de fósforo nas folhas emergentes não foi verificada significância para a interação entre as doses de fósforo e de silício, no primeiro e no segundo crescimentos da forrageira.

No material coletado no primeiro corte das plantas foi constatado que a concentração de fósforo nas folhas emergentes ajustou-se ao modelo quadrático de regressão, de acordo com as doses de fósforo. A partir dessa equação de regressão encontrou-se que a máxima concentração de fósforo nas folhas emergentes ocorreria na dose de fósforo de 387,5 mg dm<sup>-3</sup>, ou seja, superior à maior dose do estudo. Dentro da

faixa das doses estudadas a concentração variou de 2,68 a 5,23 g kg<sup>-1</sup>, correspondendo às condições de baixo e de alto suprimento de fósforo, respectivamente (Figura 36).

Nas folhas emergentes coletadas no segundo corte a concentração de fósforo no tecido também se ajustou ao modelo quadrático de regressão (Figura 37) e a máxima concentração de fósforo nas folhas emergentes ocorreria na dose de fósforo de 485 mg dm<sup>-3</sup>. Essa dose é superior à determinada no primeiro corte, provavelmente devido à maior produção de massa seca no segundo crescimento da forrageira, o que promoveria maior requerimento de nutrientes.

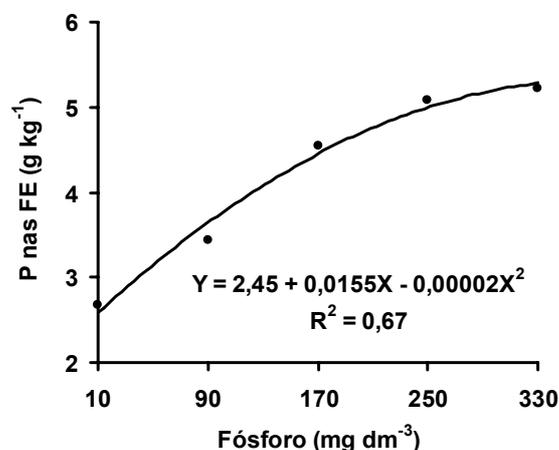


Figura 36 – Concentração de fósforo nas folhas emergentes (FE) do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das doses de fósforo

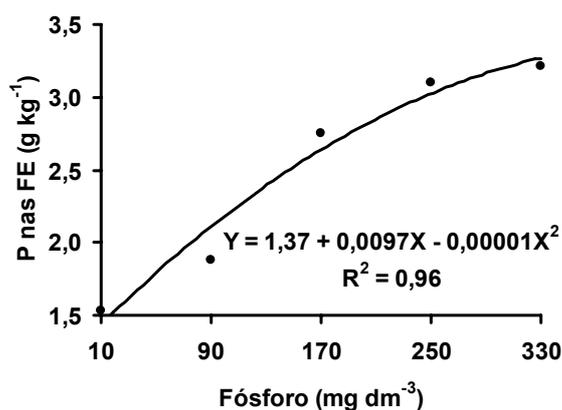


Figura 37 – Concentração de fósforo nas folhas emergentes (FE) do capim-Marandu, no segundo corte, em função das doses de fósforo

Para as lâminas de folhas recém-expandidas a concentração de fósforo mostrou comportamento diferenciado do primeiro para o segundo corte. A interação entre as doses de fósforo e de silício não foi significativa para a concentração de fósforo nesse tecido no primeiro corte, mas foi verificada significância para as doses de fósforo que se ajustaram ao modelo de regressão de segundo grau (Figura 38). Para o segundo corte verificou-se significância da interação entre as doses de fósforo e de silício na concentração de fósforo nas lâminas de folhas recém-expandidas (Figura 39).

Nas lâminas de folhas recém-expandidas coletadas no primeiro corte, verificou-se que a concentração de fósforo variou de 1,83 a 5,53 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente para a menor e maior dose de fósforo.

Batista (2002), estudando o capim-Marandu cultivado com doses de nitrogênio e de enxofre, observou variação na concentração de fósforo nas lâminas de folhas recém-expandidas no primeiro corte de 0,20 a 5,20 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente para as doses de nitrogênio na solução nutritiva de 14 e 462 mg L<sup>-1</sup>.

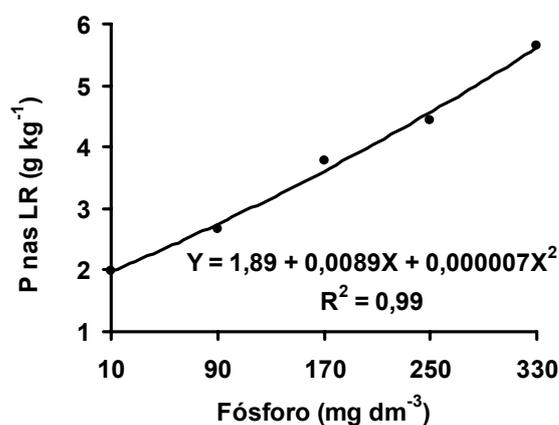
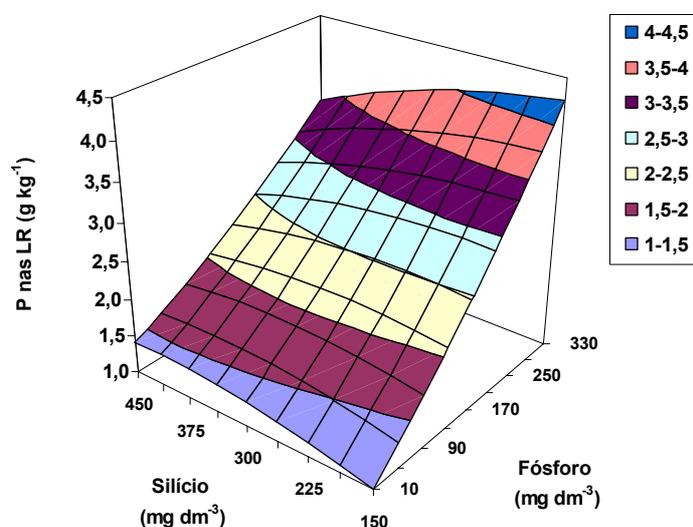


Figura 38 – Concentração de fósforo nas lâminas recém-expandidas (LR) do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das doses de fósforo



$$Y = 0,25059 + 0,00519*Si + 0,01041*P - 0,000006*Si*Si - 0,00001*P*Si + 0,000005*P*P$$

$$R^2 = 0,78$$

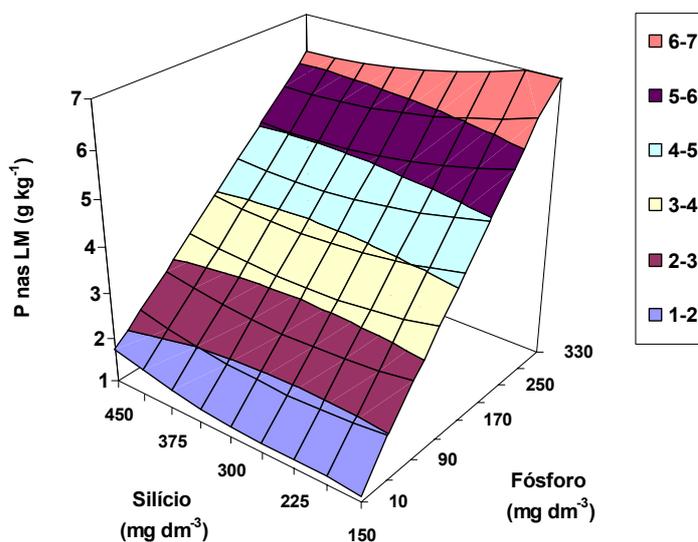
Figura 39 – Concentração de fósforo na lâmina recém-expandida (LR) do capim-Marandu, no segundo corte, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

No segundo corte a maior concentração de fósforo nas lâminas de folhas recém-expandidas foi observada na dose de fósforo de 330 mg dm<sup>-3</sup> combinada com as menores doses de silício, enquanto que a concentração mais baixa foi observada na menor dose de fósforo para qualquer dose de silício.

A análise de variância da concentração de fósforo nas lâminas de folhas maduras mostrou significância para a interação entre as combinações das doses de fósforo e de silício em ambos os cortes do capim-Marandu (Figuras 40 e 41). A concentração de fósforo nas lâminas de folhas maduras no primeiro corte variou de 1 a 7 g kg<sup>-1</sup>, obtidos com a menor e a maior dose de fósforo aplicada, respectivamente (Figura 40).

No segundo crescimento do capim-Marandu observou-se que a concentração mais elevada de fósforo nas lâminas de folhas maduras ocorreu com o fornecimento da dose de fósforo de 330 mg dm<sup>-3</sup> combinada com todas as doses de silício, exceto a

de  $450 \text{ mg dm}^{-3}$ , enquanto que a concentração mais baixa ocorreu com a combinação das duas menores doses dos dois nutrientes, ficando em  $0,82 \text{ g kg}^{-1}$  (Figura 41).



$$Y = 1,57588 - 0,00507*Si + 0,02052*P + 0,00001*Si*Si - 0,000015*P*Si + 0,000001*P*P$$

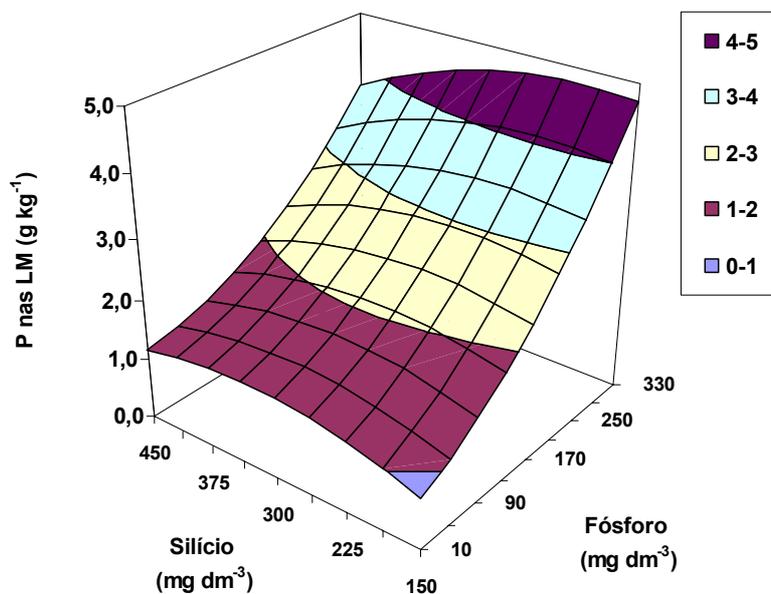
$$R^2 = 0,89$$

Figura 40 – Concentração de fósforo nas lâminas maduras (LM) do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

Nota-se que a concentração de fósforo foi maior nas lâminas de folhas maduras, para os dois cortes, em relação às demais folhas. Os valores de concentração de fósforo, nos componentes da parte aérea, observados nesse experimento são superiores em relação aos encontrados na literatura. Meirelles et al. (1988), trabalhando com capim-colonião adubado com doses de  $P_2O_5$  de 0 a  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ , encontraram concentrações de fósforo nas folhas maduras variando de 1 a  $1,6 \text{ g kg}^{-1}$  e 1,3 a  $1,8 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente no primeiro e segundo crescimento.

Na concentração de fósforo nos colmos mais bainhas não se detectou interação significativa para as doses de fósforo e de silício para o primeiro e segundo cortes. Entretanto observou-se significância para as doses individuais de fósforo, com os resultados tendo ajuste linear para o primeiro e segundo cortes (Figura 42 e 43).

Constatou-se que à medida que se aumentou a dose de fósforo ocorreu elevação na concentração desse macronutriente em ambos os corte.



$$Y = -0,48835 + 0,01075*Si + 0,007285*P - 0,00002*Si*Si - 0,00001*P*Si + 0,00002*P*P$$

$$R^2 = 0,84$$

Figura 41 – Concentração de fósforo nas lâminas maduras (LM) do capim-Marandu, no segundo corte, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

No primeiro corte, de acordo com a equação de primeiro grau, a dose de fósforo de  $10 \text{ mg dm}^{-3}$ , propiciou concentração de  $2,41 \text{ g kg}^{-1}$  de fósforo nos colmos mais bainhas (Figura 42), sendo essa a menor concentração determinada nessa parte da planta. Em condições de alta dose de fósforo ( $330 \text{ mg dm}^{-3}$ ), a concentração de fósforo atingiu  $5,61 \text{ g kg}^{-1}$  nos colmos mais bainhas.

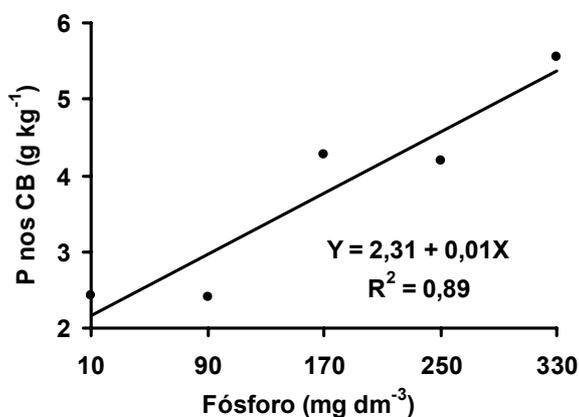


Figura 42 – Concentração de fósforo nos colmos mais bainhas (CB) do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das doses de fósforo

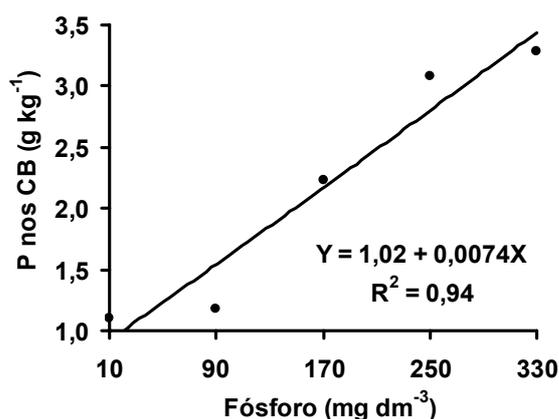


Figura 43 – Concentração de fósforo nos colmos mais bainhas (CB) do capim-Marandu, no segundo corte, em função das doses de fósforo

No segundo corte, a concentração de fósforo nos colmos mais bainhas apresentou valores inferiores aos obtidos no primeiro corte. Provavelmente isto foi devido à diluição do nutriente no interior da planta, pois a produção de massa seca nesse corte foi superior. A concentração de fósforo nessa parte da planta variou de 1,09 a 3,46 g kg<sup>-1</sup> de massa seca.

Para a concentração de fósforo nas raízes não se constatou interação significativa entre as doses de fósforo e de silício, e nem significância para as doses

isoladas de fósforo e silício. A concentração média de fósforo nas raízes foi de 3,14 g kg<sup>-1</sup>.

A concentração média do nutriente na parte aérea do capim-Marandu foi obtida através da soma do acumulado em cada componente da parte aérea, e posteriormente foi dividido pela soma da massa seca desses mesmos componentes.

A análise de variância para a concentração média de fósforo na parte aérea do capim-Marandu mostrou comportamento diferenciado para os dois cortes. Para o primeiro corte a interação entre as doses de fósforo e de silício não foi significativa, mas houve significância para as doses de fósforo, com os resultados se ajustando ao modelo linear de regressão (Figura 44). Em relação ao segundo corte, o modelo polinomial de regressão foi o que se ajustou à concentração média de fósforo na parte aérea do capim-Marandu (Figura 45).

A concentração média de fósforo na parte aérea do capim-Marandu apresentou aumento linear em função das doses de fósforo. Resultados semelhantes foram encontrados por Martinez (1980), que observou aumentos lineares na concentração de fósforo nas folhas de capim-braquiária, com os valores atingindo até 6,2 g kg<sup>-1</sup>.

Hoffmann (1992) encontrou concentrações de fósforo na parte aérea do capim-braquiária de 2,0 e 1,6 g kg<sup>-1</sup> de massa seca correspondentes a 90 e 80% da produção máxima. Da mesma forma, nas folhas novas, esses valores foram de 1,5 e 1,8 g kg<sup>-1</sup>. Verificou também que a braquiária e o colônio apresentaram relações lineares entre as doses de fósforo aplicadas e sua concentração na massa seca da parte aérea total.

No segundo corte verificou-se que a concentração média de fósforo na parte aérea foi maior quando se empregou a maior dose de fósforo próximo da máxima combinada com as doses de silício variando de 150 a 375 mg dm<sup>-3</sup>. Na dose de fósforo intermediária entre 170 e 250 mg dm<sup>-3</sup>, o fornecimento da dose de silício de 450 mg dm<sup>-3</sup> favoreceu o aumento na concentração de fósforo na parte aérea do capim-Marandu (Figura 45).

Através da equação polinomial de regressão constatou-se que a dose de fósforo de 10 mg dm<sup>-3</sup> foi a que resultou na menor concentração média de fósforo na parte aérea,

independente da dose de silício. A maior concentração média de fósforo no capim foi seis vezes superior à menor, variando de 0,5 a 3,0 g kg<sup>-1</sup>.

Com as plantas apresentando maior produção de massa seca no segundo corte, a concentração média de fósforo na parte aérea nesse corte foi inferior à do primeiro corte. Isto provavelmente ocorreu em consequência da diluição do nutriente no interior da parte aérea da forrageira.

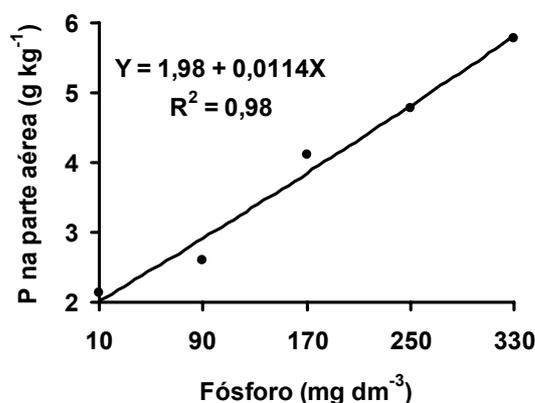
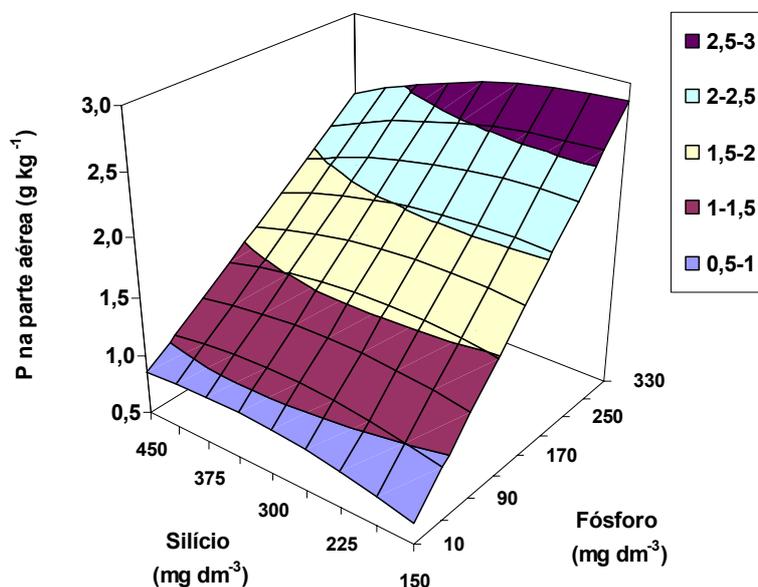


Figura 44 – Concentração média de fósforo na parte aérea do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das doses de fósforo

Rossi & Monteiro (1999) observaram variação na concentração de fósforo nas folhas de capim-braquiária, ficando os valores entre 0,7 e 6,8 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente para a menor (3,1 mg L<sup>-1</sup>) e maior (31 mg L<sup>-1</sup>) dose de fósforo.

Costa et al. (2004), estudando o capim-Massai (*Panicum maximum*) com cinco doses de fósforo variando de 0 a 120 mg dm<sup>-3</sup>, observaram comportamento quadrático da concentração de fósforo na parte aérea em função das doses de fósforo. Os mesmos autores relataram que a máxima concentração de fósforo no tecido ocorreria na dose de fósforo de 175,5 mg dm<sup>-3</sup>, superior à maior dose aplicada. A concentração de fósforo variou de 0,75 a 2,48 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente na dose 0 e 300 mg dm<sup>-3</sup>.



$$Y = 0,3548 + 0,00408*Si + 0,00839*P - 0,000005Si*Si - 0,000008*P*Si + 0,0000003*P*P$$

$$R^2 = 0,79$$

Figura 45 – Concentração média de fósforo na parte aérea do capim-Marandu, no segundo corte, em função das combinações das doses de silício e fósforo

Analisando a concentração de fósforo em cada componente da parte aérea separadamente, nota-se comportamento diferenciado entre as amostras coletadas nos dois cortes das plantas. No primeiro corte houve diferença na concentração desse nutriente apenas entre as folhas em expansão e as lâminas de folhas recém-expandidas, sendo que ambas não diferiram das lâminas de folhas maduras e dos colmos mais bainhas. A concentração de fósforo nos componentes da parte aérea no primeiro corte variou de 3,73 a 4,18 g kg<sup>-1</sup>, mostrando ser relativamente pequena essa diferença entre as partes (Figura 46).

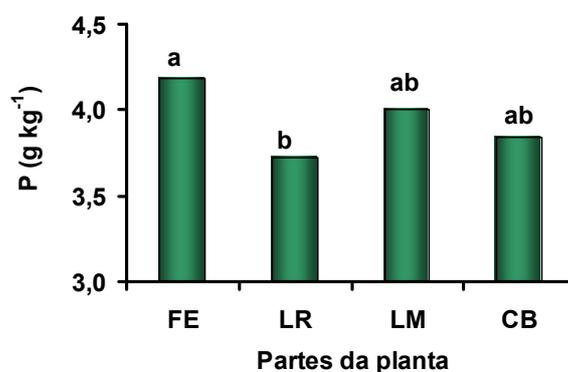


Figura 46 – Concentração de fósforo nos componentes da parte aérea do capim-Marandu, na ocasião do primeiro corte, nas plantas desenvolvidas em combinações de doses de silício e de fósforo

Monteiro et al. (1995) conduziram experimento com capim-Marandu cultivado em solução nutritiva comparando o tratamento completo com os tratamentos com omissão de nutrientes. Verificaram que a concentração de fósforo na parte aérea da planta foi de 2,4 g kg<sup>-1</sup> no tratamento completo e de 0,4 g kg<sup>-1</sup> no tratamento com omissão de fósforo.

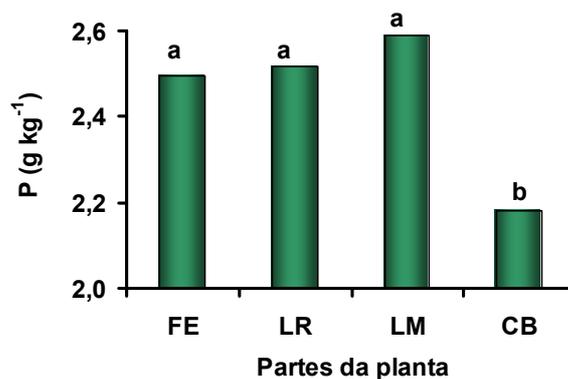


Figura 47 – Concentração de fósforo nos componentes da parte aérea do capim-Marandu, na ocasião do segundo corte, nas plantas desenvolvidas em combinações de doses de silício e de fósforo

Para o segundo corte, apenas os colmos mais bainhas tiveram concentração mais baixa de fósforo e diferiram dos demais componentes da parte aérea (Figura 47). A concentração nos tecidos no segundo corte foi inferior a do primeiro corte, como já comentado anteriormente.

#### 4.6.6.2 Silício

Para a concentração de silício em cada componente da parte aérea do capim-Marandu, a interação não foi significativa entre as doses de fósforo e de silício. Também não se constatou significância para os efeitos isolados de doses de fósforo e de silício, para qualquer dos cortes.

Para a concentração média de silício na parte aérea da forrageira houve significância das doses de silício apenas no primeiro corte. As concentrações médias de silício na parte aérea do capim-Marandu variaram de forma linear com o fornecimento de silício ao solo, oscilando de 9,9 a 15,1 g kg<sup>-1</sup>, dentro das doses estudadas, respectivamente para as condições de mais baixo e mais alto suprimento de silício (Figura 48). Isso evidencia o efeito positivo das doses de silício, provenientes da wollastonita, para a concentração de silício no tecido da forrageira.

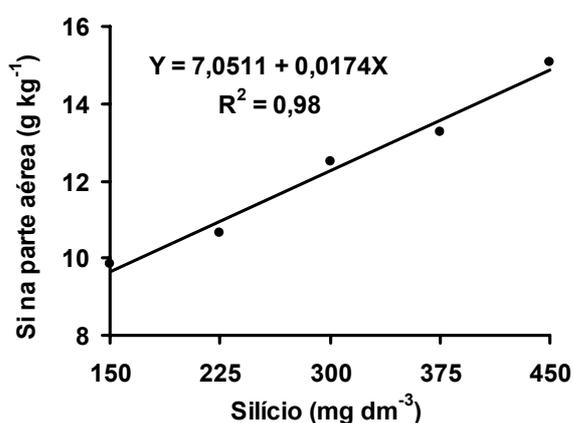


Figura 48 – Concentração média de silício na parte aérea do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das doses de silício

Na concentração de silício nas raízes não se observou significância para a interação entre as doses de fósforo e de silício. Também não foi significativo o efeito das doses de fósforo e de silício isoladas. A concentração média de silício nas raízes foi de  $76,24 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esse valor alto pode ser decorrente da presença do elemento junto com solo na superfície das raízes, mesmo depois da lavagem com água corrente.

A concentração de silício nas folhas do capim-Marandu mostrou comportamento semelhante em relação aos dois cortes, mas apenas com valores diversos. No primeiro corte (Figura 49) as lâminas de folhas maduras foram as que concentraram mais silício em relação às demais, que não diferiram entre si. A concentração de silício nessa parte da planta atingiu  $17,63 \text{ mg kg}^{-1}$ .

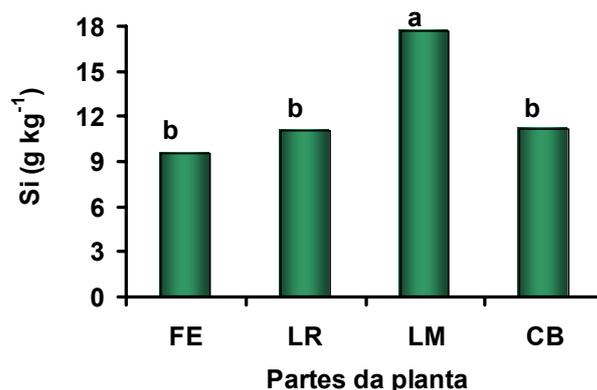


Figura 49 – Concentração de silício nos componentes da parte aérea do capim-Marandu, no primeiro corte, nas plantas desenvolvidas em combinações de doses de silício e fósforo

No segundo corte os colmos mais bainhas apresentaram maior concentração de silício em relação às demais partes da planta. A concentração de silício foi de  $12,74 \text{ mg kg}^{-1}$  nas lâminas de folhas maduras, nesse corte (Figura 50).

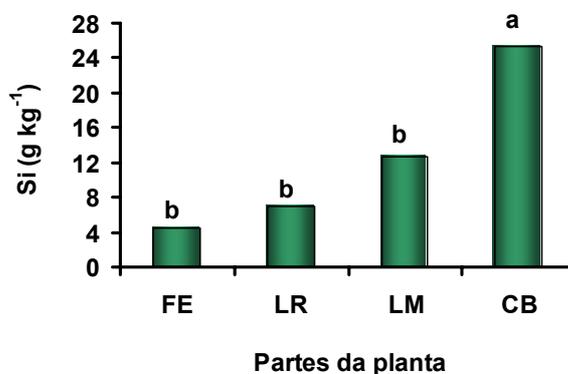


Figura 50 – Concentração de silício nos componentes da parte aérea do capim-Marandu, no segundo corte, nas plantas desenvolvidas em combinações de doses de silício e fósforo

#### 4.6.6.3 Potássio

A concentração de potássio nos componentes da parte aérea do capim-Marandu foi influenciada pelas doses de fósforo, mostrando significância apenas nas LR, nos CB e na concentração média no primeiro corte, não apresentando significância para as doses de fósforo nos demais componentes, e também não tendo significância das doses de silício em nenhum dos componentes da parte aérea.

Para as lâminas de folhas recém-expandidas a concentração de potássio só foi significativa para o primeiro corte. A concentração desse nutriente sofreu variação segundo modelo quadrático de regressão com as doses de fósforo (Figura 51). A maior concentração de potássio na lâmina recém-expandida foi de 36,79 g kg<sup>-1</sup> na dose de fósforo de 10 mg dm<sup>-3</sup>, e a menor concentração foi de 30,67g kg<sup>-1</sup> na dose de fósforo de 257,5 mg dm<sup>-3</sup>.

Batista (2002), trabalhando com capim-Marandu, observou variação na concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas, no segundo corte, de 9,2 a 31,5 g kg<sup>-1</sup>, em função das doses de nitrogênio fornecido na solução nutritiva, não observando significância no primeiro corte. Lavres Jr. (2001) encontrou concentrações variando de 3,89 a 13,58 g kg<sup>-1</sup>, nas LR do capim-Mombaça, correspondendo às doses de potássio de 19,5 e 462 mg L<sup>-1</sup>, no primeiro corte.

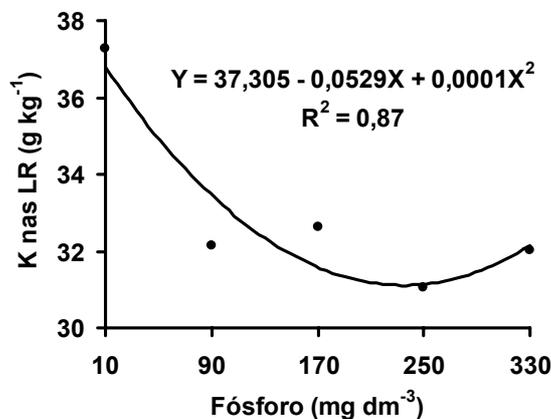


Figura 51 – Concentração de potássio nas lâminas de folhas recém-expandidas (LR) do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das doses de fósforo

A concentração de potássio nos colmos mais bainhas mostrou-se significativa para as doses de fósforo, ajustando-se ao modelo linear (Figura 52). A maior concentração de potássio nos colmos mais bainhas foi de 49,30 g kg<sup>-1</sup> na dose de fósforo de 10 mg dm<sup>-3</sup>, e a menor de 38,21 g kg<sup>-1</sup> na dose de fósforo de 330 mg dm<sup>-3</sup>. Provavelmente ocorreu efeito de diluição, com o maior crescimento da planta na maior dose de fósforo.

Lavres Jr. (2001) obteve, nos colmos mais bainhas do capim-Mombaça, interação significativa entre as doses de potássio e de nitrogênio no primeiro corte, e na ocasião do segundo corte houve significância das doses de potássio isoladas, ajustando ao modelo linear de regressão, com a concentração de potássio variando de 5,42 a 30,00 g kg<sup>-1</sup>.

Na concentração média de potássio na parte aérea do capim-Marandu não se obteve interação significativa para as doses de fósforo e de silício para o primeiro e segundo cortes. Entretanto observou-se significância para as doses de fósforo, com os resultados ajustando-se ao modelo quadrático de regressão. A concentração média de potássio variou de 34,02 a 40,01 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente para a maior e menor dose de fósforo (Figura 53).

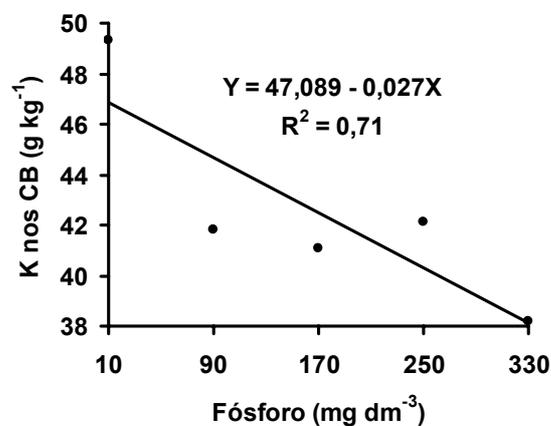


Figura 52 – Concentração de potássio nos colmos mais bainhas (CB) do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das doses de fósforo

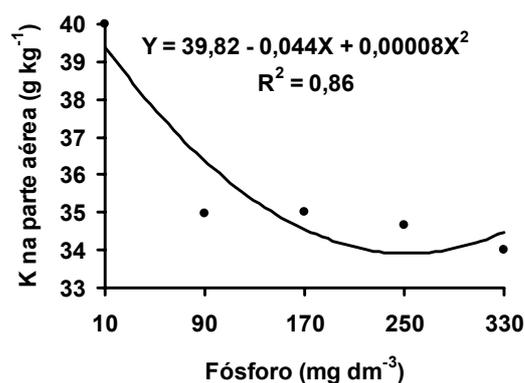


Figura 53 – Concentração média de potássio na parte aérea do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das doses de fósforo

#### 4.6.6.4 Cálcio

A concentração de cálcio nos componentes da parte aérea do capim-Marandu mostrou variação significativa apenas para as folhas emergentes coletadas no primeiro corte e nos colmos mais bainhas do segundo corte, em função das doses de silício.

Para as folhas emergentes (Figura 54), de acordo com o modelo linear de regressão, na mais baixa dose de silício (150 mg dm<sup>-3</sup>) ocorreu a mais elevada

concentração de cálcio ( $2,91 \text{ g kg}^{-1}$ ), enquanto que na dose de silício de  $450 \text{ mg dm}^{-3}$  foi observada a mais baixa concentração de cálcio ( $1,68 \text{ g kg}^{-1}$ ).

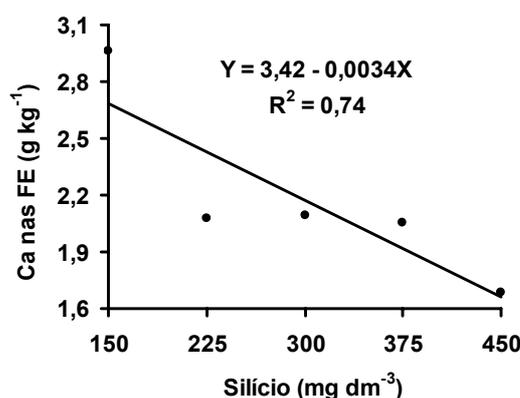


Figura 54 – Concentração de cálcio nas folhas emergentes (FE) do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das doses de silício

Ao analisar a Figura 55, pode-se observar que a mais alta concentração de cálcio nos colmos mais bainhas do capim-Marandu na ocasião do primeiro corte encontrava-se em condições de baixa dose de silício ( $150 \text{ mg dm}^{-3}$ ) e a mais baixa concentração de cálcio na dose na alta dose de silício ( $450 \text{ mg dm}^{-3}$ ). A concentração de cálcio nos colmos mais bainhas do capim-marandu variou de  $2,58$  a  $1,56 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente para a maior e menor dose de silício.

Monteiro et al. (1995) cultivaram o capim-Marandu em solução nutritiva e constataram que a concentração de cálcio na massa seca da parte aérea se alterou de  $0,9$  para  $8,5 \text{ g kg}^{-1}$ , respectivamente do tratamento com omissão de cálcio para o tratamento completo.

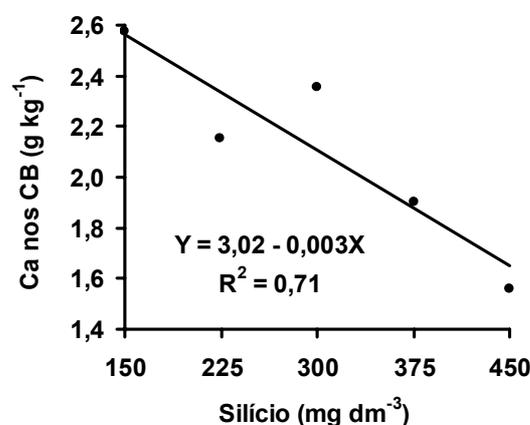


Figura 55 – Concentração de cálcio nos colmos mais bainhas (CB) do capim-Marandu, no segundo corte, em função das doses de silício

Na análise de variância para a concentração de cálcio nas raízes do capim-Marandu, não se observou significância para a interação entre as doses de fósforo e de silício. Entretanto observou-se significância para as doses individuais de silício, com os resultados tendo ajuste a modelo linear de regressão (Figura 56). Constatou-se, através da equação de primeiro grau, que à medida em que aumentou as doses de silício diminuiu a concentração de cálcio nas raízes.

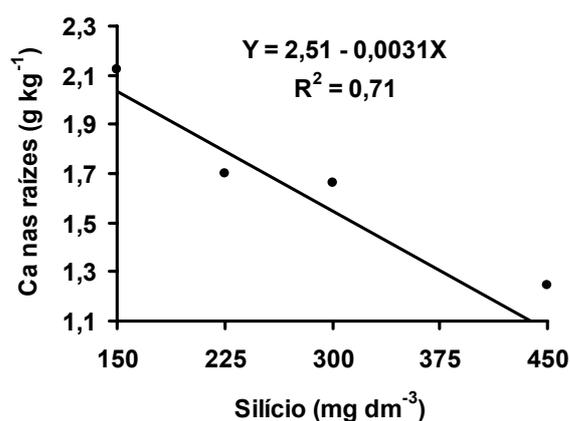


Figura 56 – Concentração de cálcio nas raízes do capim-Marandu, em função das doses de silício

A fonte de silício utilizada nesse experimento contém cálcio na sua formulação. Entretanto todas as variáveis relativas à concentração de cálcio no tecido apresentaram decréscimo para as doses de silício. Uma possível causa desses resultados talvez seja o fator diluição dentro da planta, pois como pode ser visto nos gráficos de produção de massa seca para os dois cortes, as doses de silício juntamente com as de fósforo influenciaram na produção de massa seca do capim-Marandu.

#### 4.6.6.5 Magnésio

Na concentração de magnésio nos componentes da parte aérea do capim-Marandu não foi significativa a interação entre as doses de fósforo e de silício. Ela foi influenciada pelas doses de fósforo apenas nas LM coletadas no primeiro corte e na concentração média desse nutriente no primeiro corte. Nos demais componentes da parte aérea não houve influência das doses de fósforo e nem das doses de silício.

Para a concentração de magnésio nas lâminas de folhas maduras do capim-Marandu na ocasião do primeiro corte, a interação entre as doses de fósforo e de silício não foi significativa. Entretanto, as doses de fósforo isoladas influenciaram a concentração de magnésio nas lâminas de folhas maduras, ajustando-se os resultados ao modelo quadrático de regressão (Figura 57).

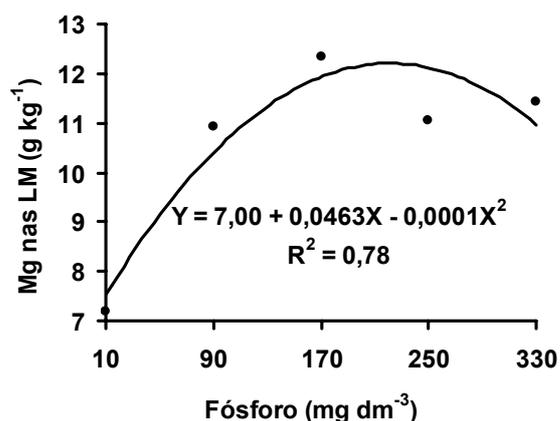


Figura 57 – Concentração de magnésio nas lâminas de folhas maduras (LM) do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das doses de fósforo

De acordo com a equação de segundo grau, a dose de fósforo de 231,5 mg dm<sup>-3</sup> correspondeu ao ponto de máxima concentração de magnésio nas lâminas de folhas maduras e, à medida em que aumentaram as doses de fósforo além desse ponto, ocorreu redução da concentração de magnésio no tecido vegetal do capim-Marandu. A concentração de magnésio nas lâminas de folhas maduras variou de 7,20 a 12,33 g kg<sup>-1</sup>.

A variação na concentração de magnésio na parte aérea do capim-Marandu mostrou-se significativa apenas para as doses de fósforo no primeiro corte, ajustando-se ao modelo quadrático de regressão (Figura 58). Através da equação de segundo grau verificou-se que a dose de fósforo de 233,3 mg dm<sup>-3</sup> promoveu a máxima concentração desse nutriente na parte aérea do capim-Marandu.

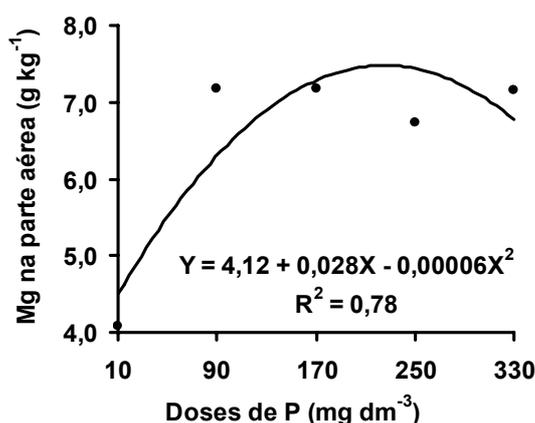


Figura 58 – Concentração média de magnésio na parte aérea do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das doses de fósforo

#### 4.6.6.6 Enxofre

Para a concentração de enxofre nos componentes da parte aérea e nas raízes do capim-Marandu a interação entre as doses de fósforo e de silício não foi significativa em nenhum dos componentes da parte aérea. Apenas a concentração de enxofre nas LM foi influenciada pelas doses de silício enquanto nenhum dos outros componentes da parte aérea e nem as raízes foram influenciados pelas doses isoladas de fósforo e de silício.

Na análise de variância da concentração de enxofre nas lâminas de folhas maduras do capim-Marandu os resultados ajustaram ao modelo linear de regressão

(Figura 59), na ocasião do segundo corte. Constatou-se que à medida em que se aumentaram as doses de silício ocorreu redução na concentração de enxofre nas lâminas de folhas maduras. A concentração de enxofre nas lâminas de folhas maduras do capim-Marandu na ocasião do segundo corte variou de 2,49 a 1,23 g kg<sup>-1</sup> de massa seca.

De acordo com Monteiro et al. (2004), respostas à adubação com enxofre só serão expressivas com aplicação conjunta de pelo menos um outro macronutriente. Passos et al. (1997), após cultivarem o capim-Marandu em um Latossolo, não observaram respostas à adubação com gesso quando na ausência da adubação fosfatada, indicando que a deficiência de fósforo foi mais limitante que a de enxofre.

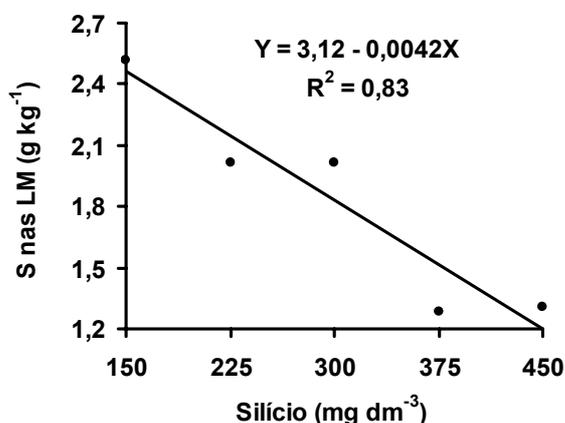


Figura 59 – Concentração de enxofre nas lâminas de folhas maduras do capim-Marandu, no segundo corte, em função das doses de silício

Santos (1997), estudando o comportamento do capim-Braquiária quando submetido a doses de nitrogênio e enxofre, verificou significância das doses de enxofre na concentração de enxofre em todas as partes da planta, sendo que nas LM a máxima concentração obtida foi de 1,9 g kg<sup>-1</sup> e foi detectada na dose de enxofre de 49 mg L<sup>-1</sup>. Monteiro et al. (1995) constataram aumento na concentração de enxofre na parte aérea do capim-Marandu de 1,0 para 1,9 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente no tratamento sem enxofre para o tratamento completo.

#### 4.6.7 Acúmulo dos elementos na planta

##### 4.6.7.1 Fósforo

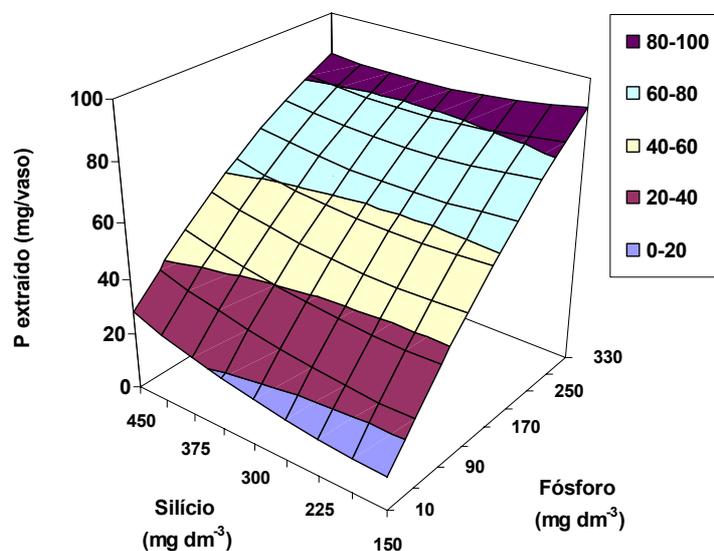
O total do nutriente extraído pela parte aérea das plantas é função da concentração desse nutriente no tecido da planta e da produção de massa seca da mesma.

O total de fósforo extraído pela parte aérea do capim-Marandu mostrou significância para a interação entre as doses de fósforo e de silício, em ambos os cortes, com os resultados ajustando-se a modelo polinomial de regressão.

O estudo da superfície de resposta para o total de fósforo extraído no primeiro corte demonstrou que a partir da dose de fósforo de 290 mg dm<sup>-3</sup>, para todas as doses de silício, resultou no maior valor total de fósforo extraído (Figura 60). O total de fósforo extraído, de acordo com o modelo polinomial de regressão, variou de 11,8 a 90,3 mg/vaso. Observa-se que doses baixas de fósforo combinadas com doses altas de silício apresentaram maior acúmulo de fósforo pela forrageira quando comparado ao fornecimento de doses baixas de fósforo e de silício.

Santos (1999), trabalhando com *Brachiaria brizantha* cv. MG-4, observou que o acúmulo de fósforo na parte aérea da forrageira, no primeiro corte, apresentou comportamento quadrático em função das doses de fósforo (P = 25, 50, 75, 100 e 200 mg dm<sup>-3</sup>), que acompanhou a variação na produção de massa seca do capim. Santos (1999) obteve acúmulos de fósforo na parte aérea do capim-Marandu variando de 5 a 15 mg/vaso no primeiro corte.

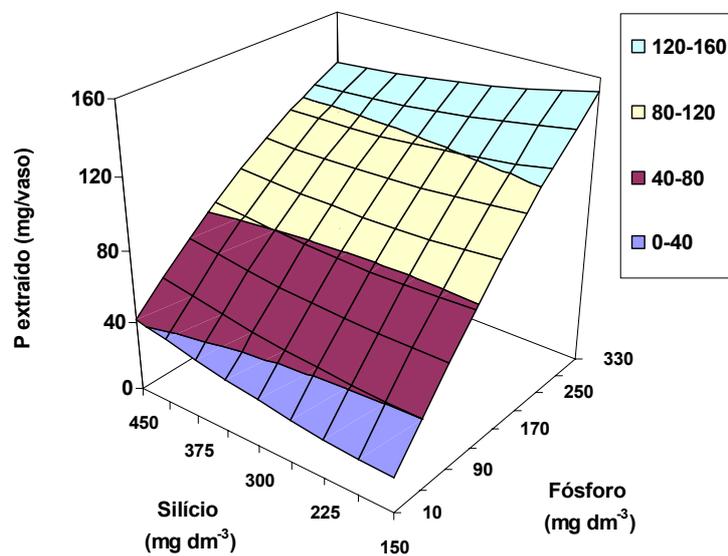
Rossi (1995) observou variação no acúmulo de fósforo pelo capim-Marandu, que foi dependente da fonte de fósforo utilizada e das doses de calcário aplicadas. Para o superfosfato triplo a resposta em termos de acúmulo do nutriente foi sempre superior em relação ao fosfato de Araxá, independente da dose de calcário. A maior dose de calcário (3,2 Mg ha<sup>-1</sup>) foi a que promoveu maior acúmulo de fósforo pela forrageira. Essa influência da calagem foi atribuída à elevação do pH do solo.



$$Y = 10,2751 - 0,034996*Si + 0,364449*P + 0,00015*Si*Si - 0,00022*P*Si - 0,00025*P*P$$

$$R^2 = 0,90$$

Figura 60 – Total de fósforo extraído pela parte aérea do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das combinações das doses de silício e de fósforo



$$Y = 13,01247 - 0,017158*Si + 0,607844*P + 0,00016*Si*Si - 0,00045*P*Si - 0,00037*P*P$$

$$R^2 = 0,87$$

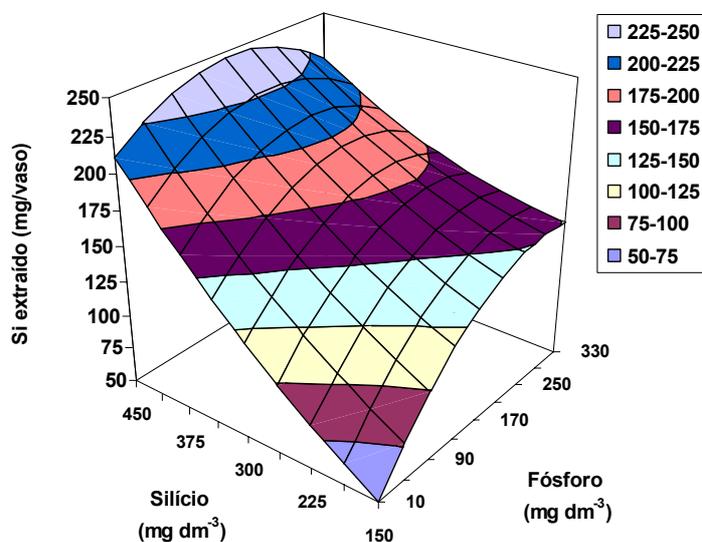
Figura 61 – Total de fósforo extraído pela parte aérea do capim-Marandu, no segundo corte, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

A análise de variância do total de fósforo extraído no segundo corte demonstrou comportamento semelhante ao primeiro corte, ou seja, a maior dose de silício ( $450 \text{ mg dm}^{-3}$ ) combinada com baixas doses de fósforo resultou em maior acúmulo de fósforo quando comparada com o fornecimento de baixas doses de fósforo e de silício (Figura 61). O modelo polinomial de regressão mostrou que o total de fósforo extraído no segundo corte variou de 11,75 a 90,25 mg/vaso.

Corrêa (1991), ao estudar os níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e *Panicum maximum* em Latossolo Vermelho-Amarelo Álico, verificou que os conteúdos de fósforo na massa seca da parte aérea das três gramíneas aumentaram significativamente com o incremento das doses de fósforo aplicadas, sendo que o acúmulo foi mais acentuado em *B. brizantha* e *P. maximum* e menos na *B. decumbens*, mostrando a maior exigência nutricional da *B. brizantha* em relação à *B. decumbens*.

#### 4.6.7.2 Silício

O total de silício extraído pela parte aérea do capim-Marandu mostrou significância para a interação entre as doses de fósforo e de silício, apenas no primeiro corte. Pode-se observar que o total de silício extraído variou de 50,3 a 246,0 mg/vaso, na combinação das mais baixas doses de fósforo e de silício para a combinação das mais altas doses desses elementos, respectivamente. Foi observado que nas doses de fósforo de 90 a 250  $\text{mg dm}^{-3}$  associadas à dose de silício de  $450 \text{ mg dm}^{-3}$ , observou-se o maior acúmulo de silício no capim (Figura 62).



$$Y = -2,5300 + 0,22294*Si + 0,88404*P + 0,00054*Si*Si - 0,000976*P*Si - 0,001257*P*P$$

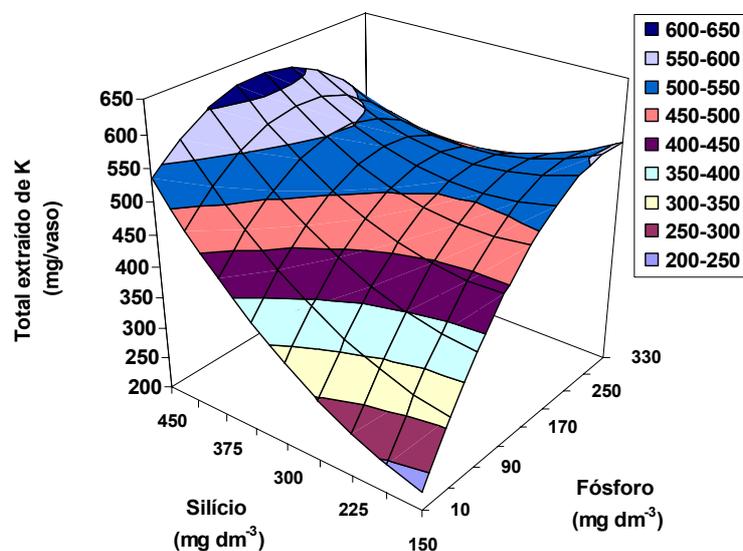
$$R^2 = 0,61$$

Figura 62 – Total de silício extraído pela parte aérea do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

Melo et al. (2003), estudando o acúmulo de silício pelas espécies *B. decumbens* e *B. brizantha* em resposta a adubação silicatada, observaram acúmulo crescente nos três cortes realizados, e que na média a *B. decumbens* acumulou mais silício quando comparada com a *B. brizantha*, sendo esses valores de 112,0 e 105,4 mg/vaso, respectivamente. Em relação às doses de silício aplicadas, os mesmos autores verificaram aumento no acúmulo de silício que oscilou de 47,5 para 150,3 mg/vaso, respectivamente para as doses de silício de 0 para 1452 kg ha<sup>-1</sup>.

#### 4.6.7.3 Potássio

A análise de variância para o total de potássio extraído pelo capim-Marandu mostrou significância para a interação entre as doses de fósforo e de silício na ocasião do primeiro corte (Figura 63).



$$Y = 198,4161 - 0,282969*Si + 2,84067*P + 0,00224*Si*Si - 0,00363*P*Si - 0,00376*P*P$$

$$R^2 = 0,66$$

Figura 63 – Total de potássio extraído pela parte aérea do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

O estudo da superfície de resposta do total de potássio na parte aérea do capim-Marandu demonstrou que, para todas as doses de fósforo, à medida em que se aumentou a dose de silício ocorreu elevação no total de potássio na parte aérea. Entretanto, observou-se que as mais altas concentrações de potássio encontravam-se em doses medianas de fósforo (90 a 170 mg dm<sup>-3</sup>).

Santos (1999) observou aumento no acúmulo de potássio no capim-Marandu com a elevação das doses de fósforo, no primeiro corte, e um comportamento inverso no segundo corte. O mesmo autor verificou que o acúmulo máximo atingido foi de 597,6 mg/vaso com dose de fósforo de 181,32 mg kg<sup>-1</sup> de solo.

Vários pesquisadores não encontraram efeito da adubação fosfatada na quantidade de potássio acumulada na planta (Filizolla & Baugartner, 1984; Nascimento et al., 1990), enquanto outros têm relatado redução no acúmulo deste elemento (Andrew & Robins, 1971; CIAT, 1982), sendo essa redução atribuída ao efeito de diluição.

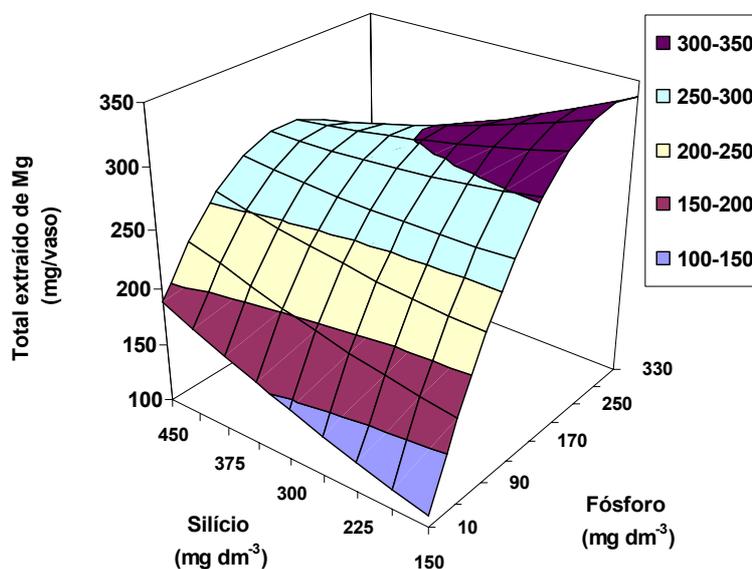
#### 4.6.7.4 Magnésio

O total de magnésio na parte aérea do capim-Marandu apresentou comportamento diferenciado por ocasião do primeiro e do segundo corte do capim-Marandu. A interação entre as doses de fósforo e de silício não foi significativa para o total de magnésio na parte aérea na ocasião do primeiro corte e significância também não foi observada para as doses isoladas de fósforo e de silício. Na ocasião do segundo corte a interação entre as doses de fósforo e de silício mostrou-se significativa, ajustando-se os resultados ao modelo de regressão polinomial (Figura 64).

O estudo da superfície de resposta do total de magnésio na parte aérea do capim-Marandu demonstrou que o aumento das doses de silício, nas menores doses de fósforo, proporcionou aumento no total de magnésio na parte aérea. Entretanto, nas maiores doses de fósforo o aumento das doses de silício não influenciou o incremento do total acumulado de magnésio na parte aérea. O total de magnésio variou de 93,8 a 320,8 mg/vaso.

Santos (1999) observou comportamento diferente no total de magnésio na parte aérea do capim-Marandu entre o primeiro e o segundo corte. No primeiro corte a resposta foi positiva, tendo comportamento quadrático de acordo com as doses de fósforo, enquanto que no segundo corte o acúmulo de magnésio foi superior nas menores doses de fósforo.

Assim como foi verificado por Hoffmann (1992) para os capins Braquiária e Colonião, o total de magnésio na parte aérea seguiu o comportamento da produção de massa seca, indicando que possivelmente esta determina o acúmulo desse nutriente.



$$Y = 64,5983 + 0,149900*Si + 2,067795*P + 0,000221*Si*Si - 0,00199*P*Si - 0,0031*P*P$$

$$R^2 = 0,64$$

Figura 64 – Total de magnésio extraído pela parte aérea do capim-Marandu, no segundo corte, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

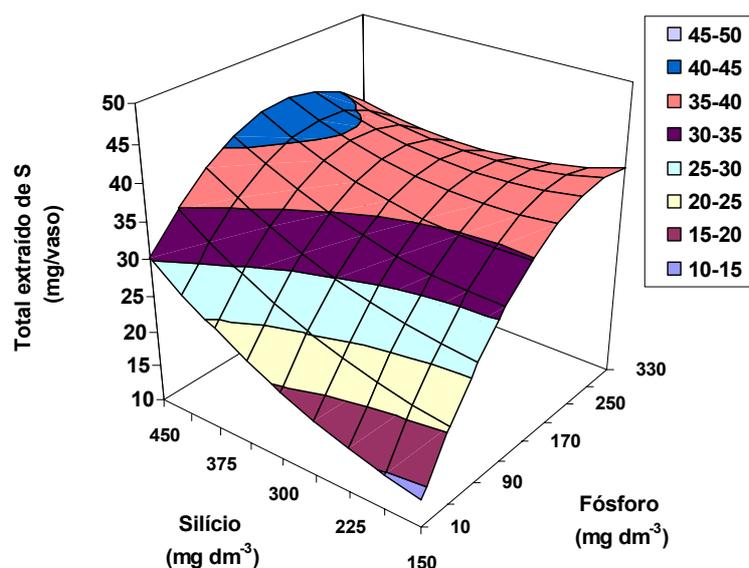
#### 4.6.7.5 Enxofre

Na análise de variância para o total de enxofre na parte aérea do capim-Marandu foi verificada significância para a interação entre as doses de fósforo e de silício no primeiro corte, com ajuste dos resultados ao modelo polinomial de regressão (Figura 65).

Ao analisar a Figura 65, pode-se observar que os mais altos valores do total de enxofre na parte aérea encontram-se em combinações das doses medianas de fósforo (170 e 250 mg dm<sup>-3</sup>) e altas doses de silício (375 e 450 mg dm<sup>-3</sup>), e os valores mais baixos na combinação da dose de fósforo de 10 mg dm<sup>-3</sup> com a de silício de 150 mg dm<sup>-3</sup>.

Santos (1997), trabalhando com capim-Braquiária cultivado em solução nutritiva com doses de nitrogênio e enxofre, observou o máximo acúmulo de enxofre na parte aérea na dose de enxofre de 64 mg L<sup>-1</sup> para ambos os cortes. Apesar da concentração ser a mesma nos dois cortes, a quantidade acumulada no primeiro corte representou 44,5% do enxofre acumulado no segundo corte e o autor chamou a

atenção para a maior necessidade de enxofre no segundo crescimento em relação ao primeiro.



$$Y = 10,9725 - 0,010624*Si + 0,218634*P + 0,00011*Si*Si - 0,00018*P*Si - 0,00033*P*P$$

$$R^2 = 0,71$$

Figura 65 – Total de enxofre extraído pela parte aérea do capim-Marandu, no primeiro corte, em função das combinações das doses de silício e de fósforo

#### 4.7 Avaliações histológicas

A Figura 66 mostra a lâmina da folha madura do capim-Marandu, destacando a presença de algumas estruturas celulares como: células buliformes, bainha do feixe, os feixes vasculares, as epidermes adaxial e abaxial, os estômatos, além da presença do silício nas células da epiderme adaxial.

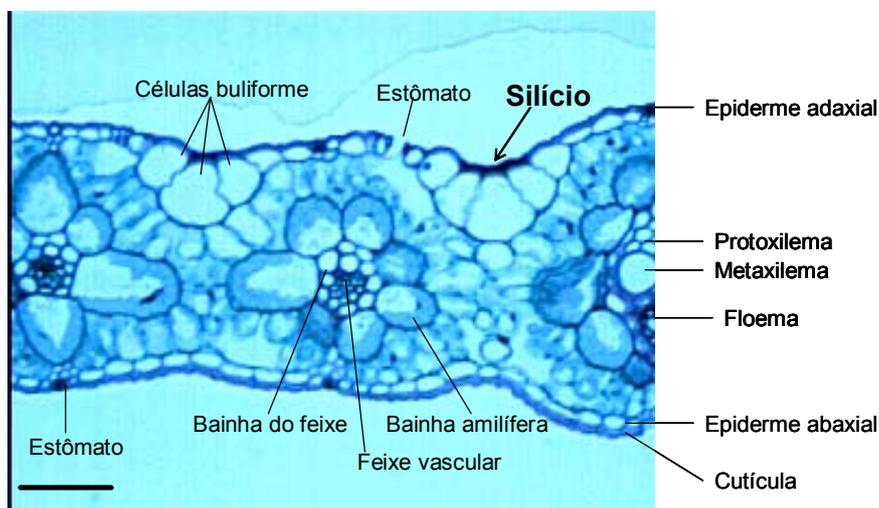


Figura 66 – Seção transversal da lâmina de folha madura (LM) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de 2,6 mmol L<sup>-1</sup>, destacando as partes anatômicas entre a superfície adaxial e a superfície abaxial. Barra: 50μm

As Figuras de 67 a 81 apresentam os cortes histológicos das folhas (LM, LR e FE) do capim-Marandu, destacando a superfície adaxial com o espessamento da epiderme. Os cortes histológicos estão em aumentos de 10, 20, 50 e 100 vezes. Pode-se observar, nessas figuras, a deposição de sílica nas células da epiderme, promovendo o engrossamento dessa região. Segundo vários autores (Motomura et al., 2000; Hossain et al., 2002; Albuquerque & Neves, 2004), esse engrossamento da epiderme provavelmente seja devido à deposição de silício.

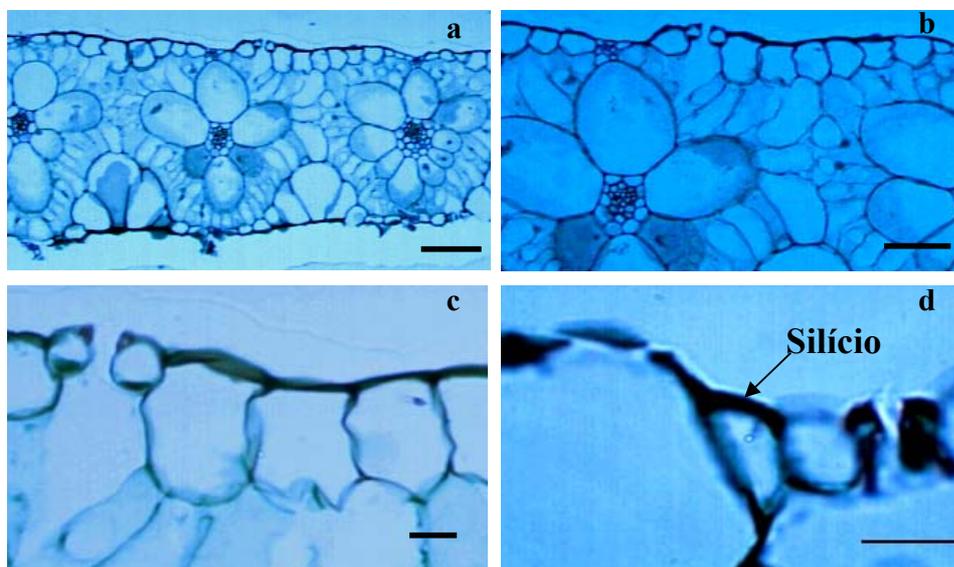


Figura 67 – Seções transversais das lâminas de folhas maduras (LM) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $0 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50 \mu\text{m}$ , (c)  $10 \mu\text{m}$  e (d)  $10 \mu\text{m}$

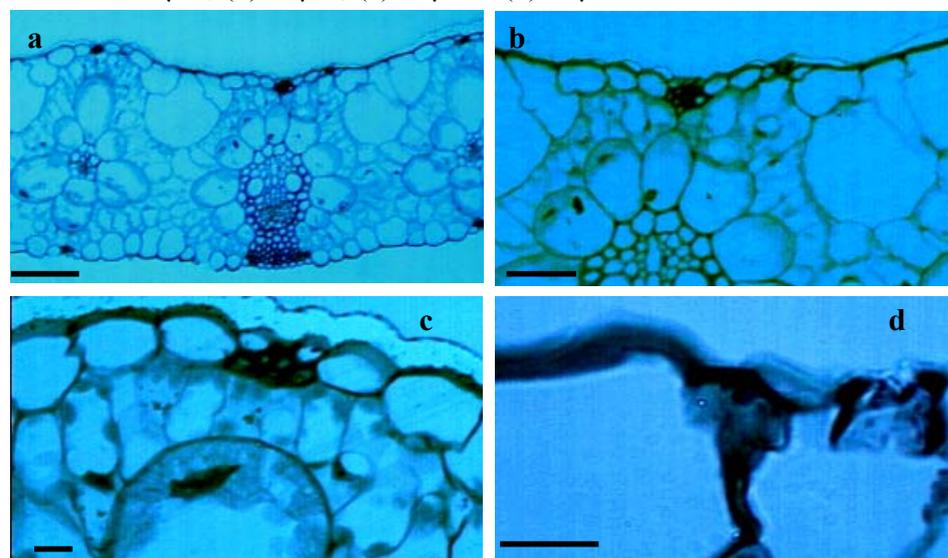


Figura 68 – Seções transversais das lâminas de folhas maduras (LM) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $0,6 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50 \mu\text{m}$ , (c)  $10 \mu\text{m}$  e (d)  $10 \mu\text{m}$

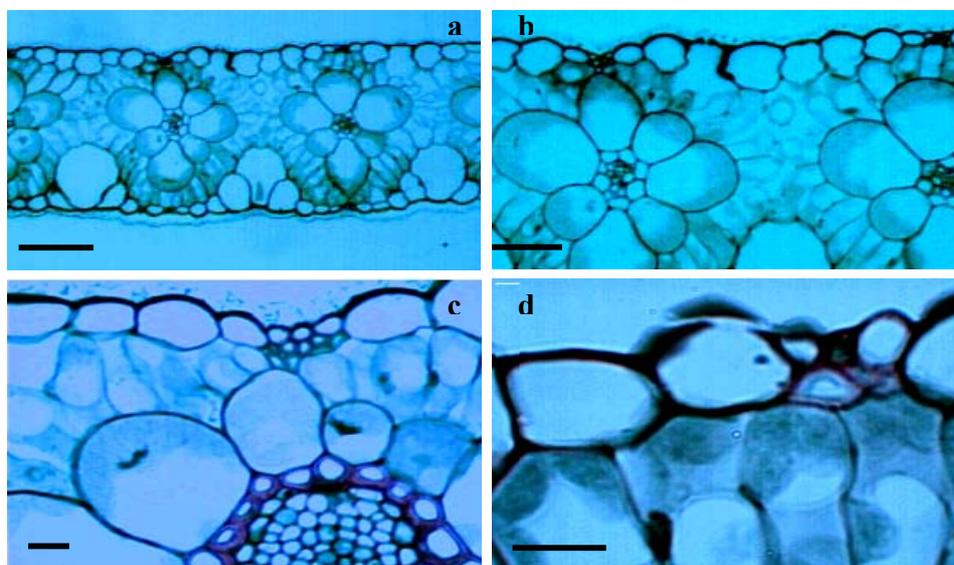


Figura 69 – Seções transversais das lâminas de folhas maduras (LM) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $1,2 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50\mu\text{m}$ , (c)  $10\mu\text{m}$  e (d)  $10\mu\text{m}$

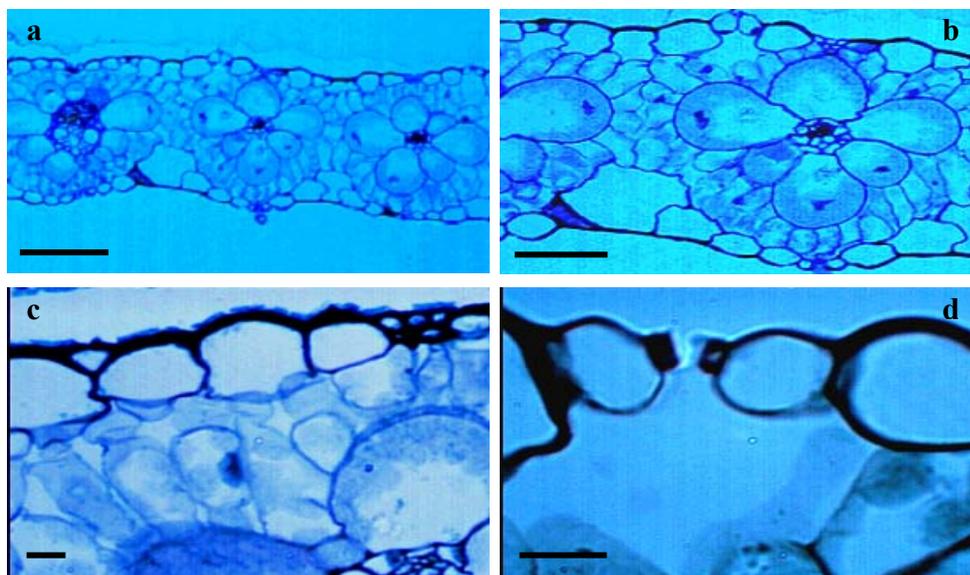


Figura 70 – Seções transversais das lâminas de folhas maduras (LM) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $1,8 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50\mu\text{m}$ , (c)  $10\mu\text{m}$  e (d)  $10\mu\text{m}$

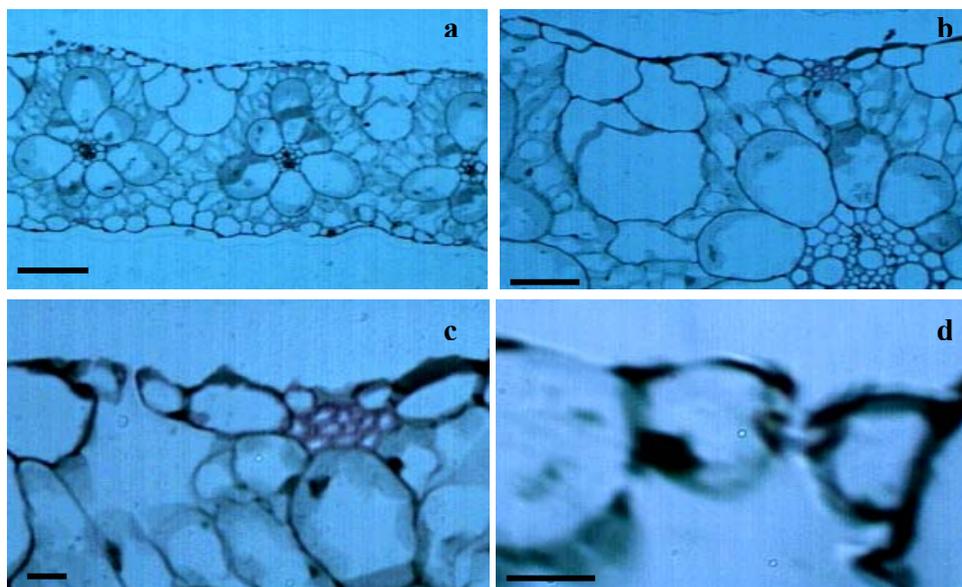


Figura 71 – Seções transversais das lâminas de folhas maduras (LM) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $2,4 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50\mu\text{m}$ , (c)  $10\mu\text{m}$  e (d)  $10\mu\text{m}$

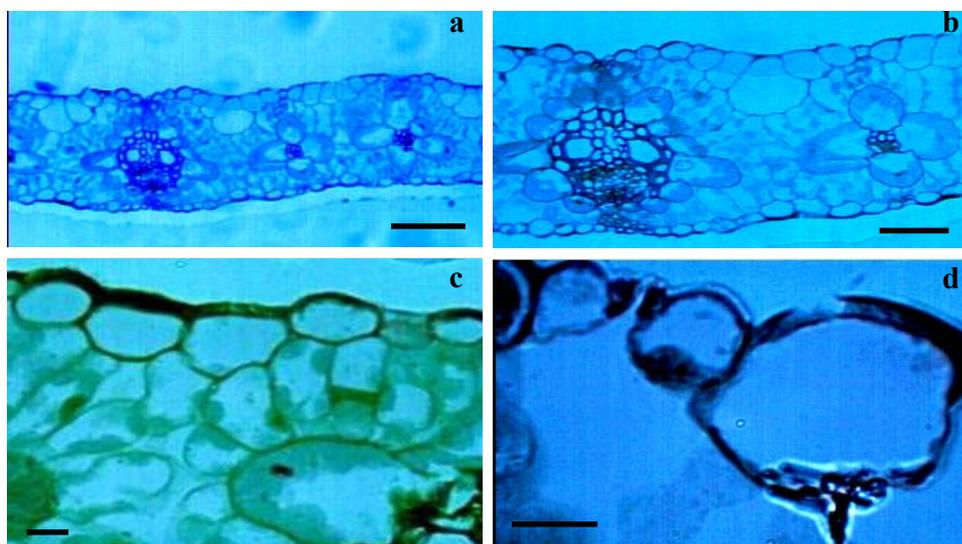


Figura 72 – Seções transversais das folhas recém-expandidas (LR) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $0 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50\mu\text{m}$ , (c)  $10\mu\text{m}$  e (d)  $10\mu\text{m}$

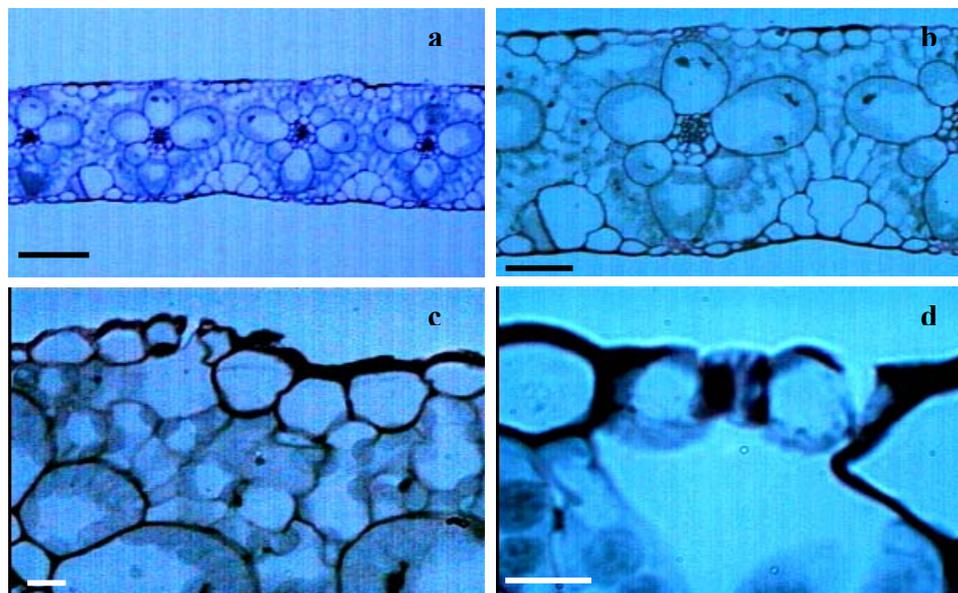


Figura 73 – Seções transversais das folhas recém-expandidas (LR) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $0,6 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50\mu\text{m}$ , (c)  $10\mu\text{m}$  e (d)  $10\mu\text{m}$

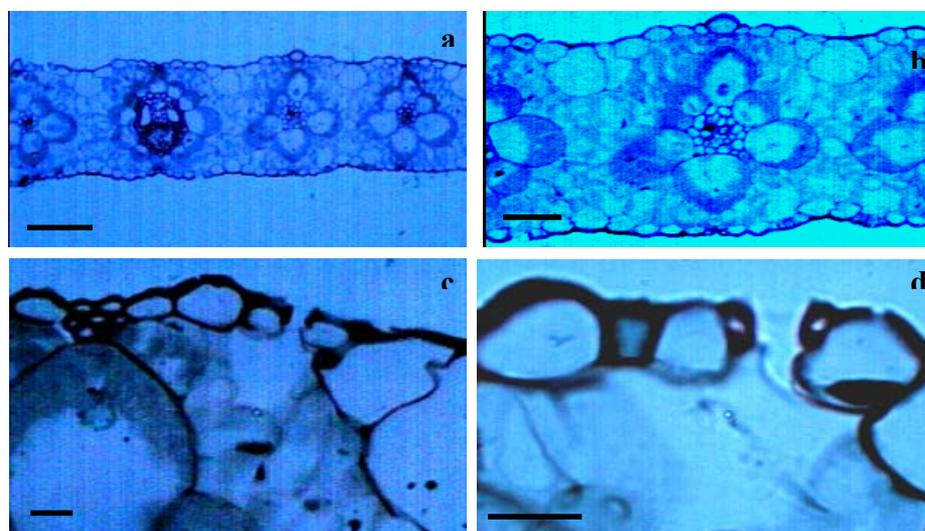


Figura 74 – Seções transversais das folhas recém-expandidas (LR) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $1,2 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50\mu\text{m}$ , (c)  $10\mu\text{m}$  e (d)  $10\mu\text{m}$

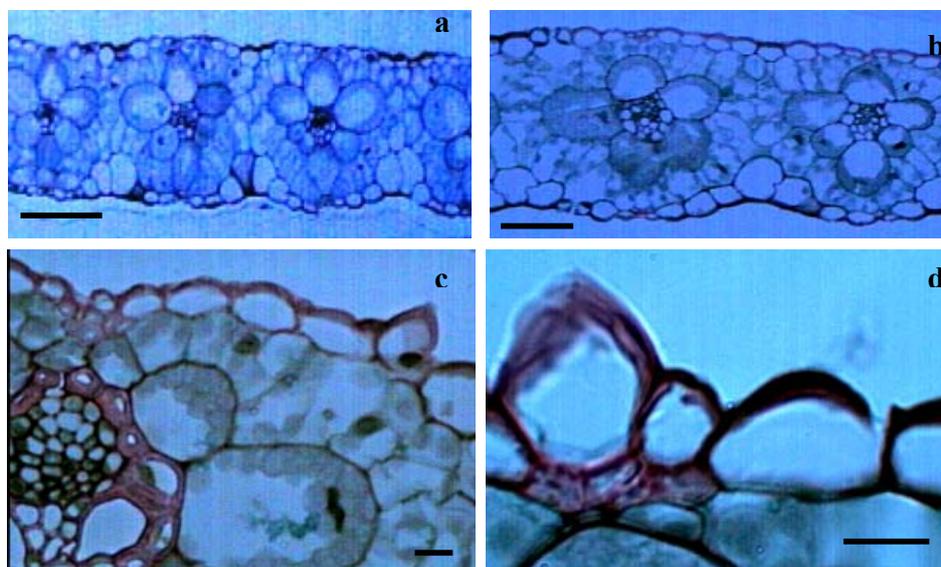


Figura 75 – Seções transversais das folhas recém-expandidas (LR) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $1,8 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50\mu\text{m}$ , (c)  $10\mu\text{m}$  e (d)  $10\mu\text{m}$

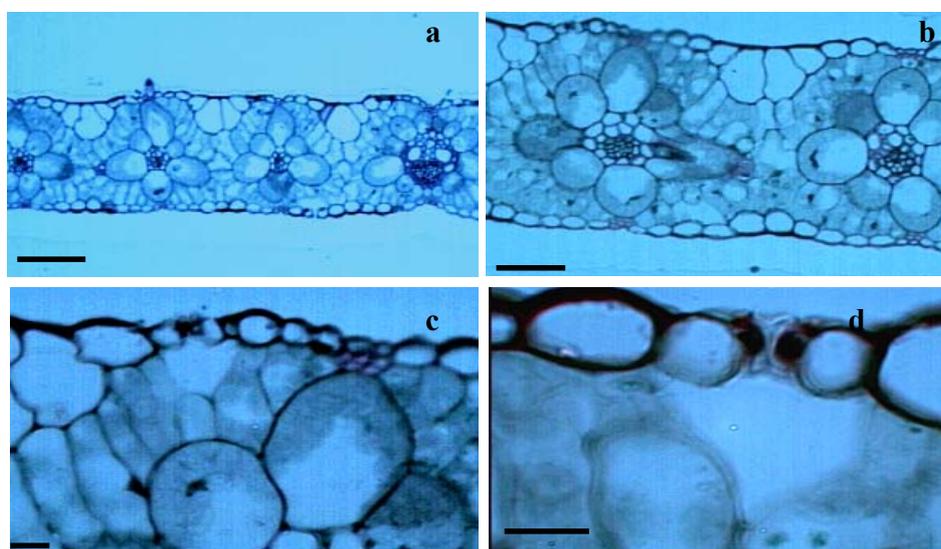


Figura 76 – Seções transversais das folhas recém-expandidas (LR) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $2,4 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50\mu\text{m}$ , (c)  $10\mu\text{m}$  e (d)  $10\mu\text{m}$

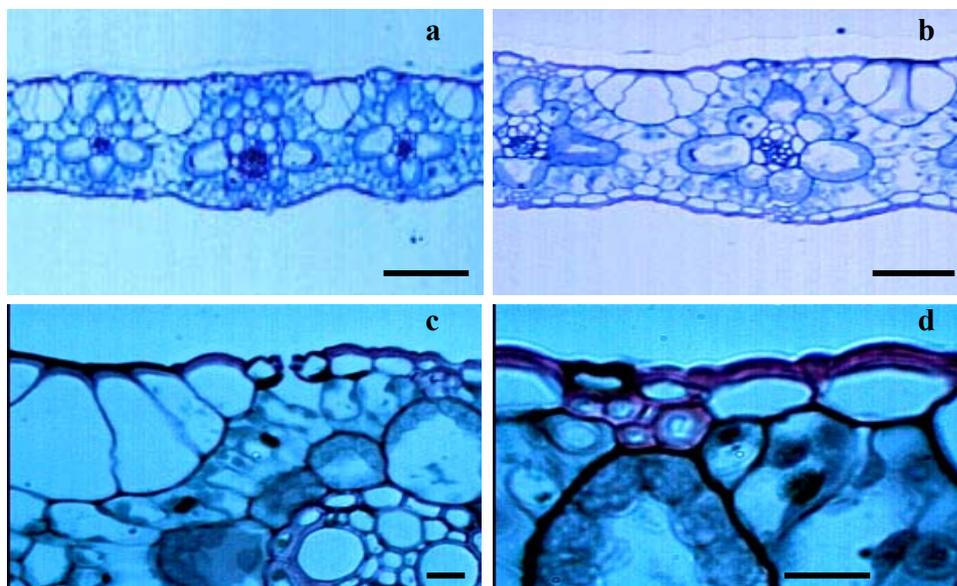


Figura 77 – Seções transversais das lâminas de folhas em expansão (FE) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $0 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50 \mu\text{m}$ , (c)  $10 \mu\text{m}$  e (d)  $10 \mu\text{m}$

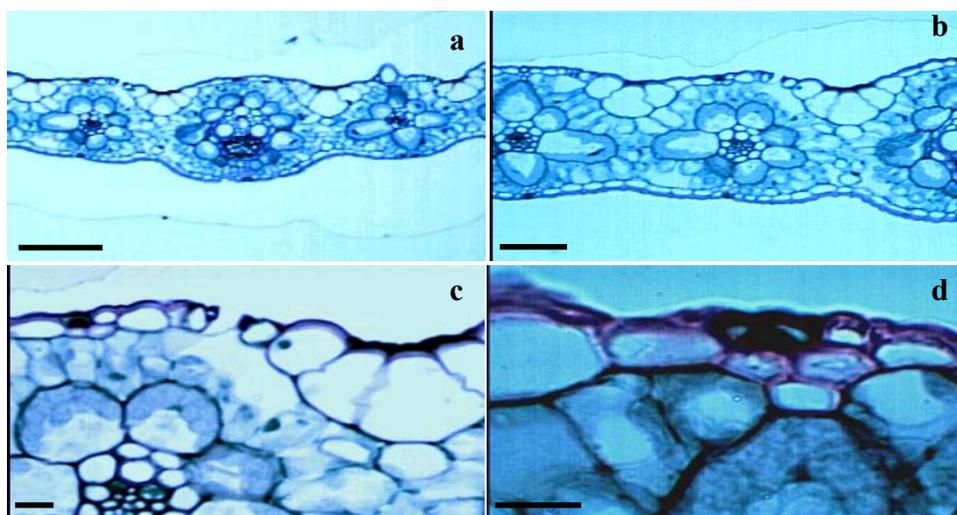


Figura 78 – Seções transversais das folhas recém-expandidas (FE) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $0,6 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50 \mu\text{m}$ , (c)  $10 \mu\text{m}$  e (d)  $10 \mu\text{m}$

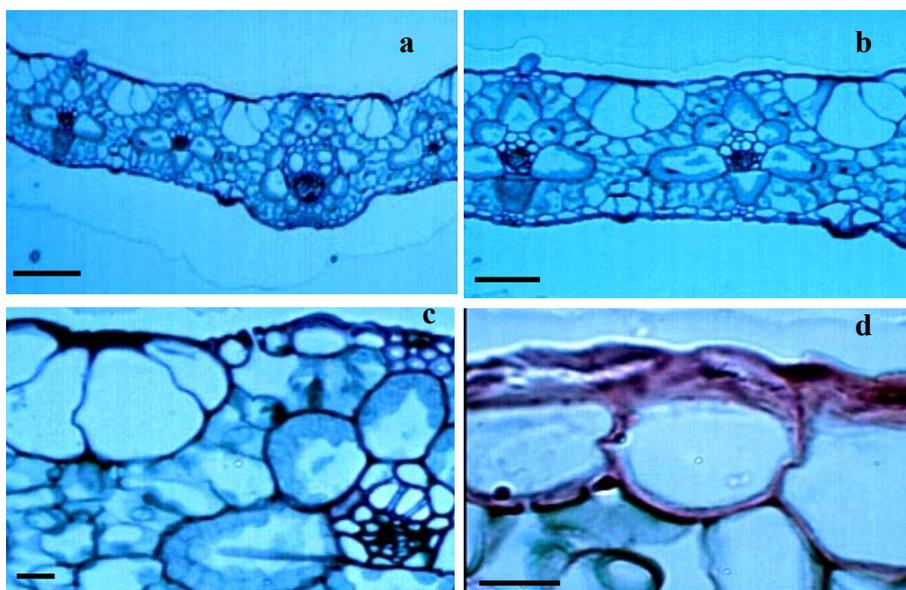


Figura 79 – Seções transversais das folhas recém-expandidas (FE) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $1,2 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50\mu\text{m}$ , (c)  $10\mu\text{m}$  e (d)  $10\mu\text{m}$

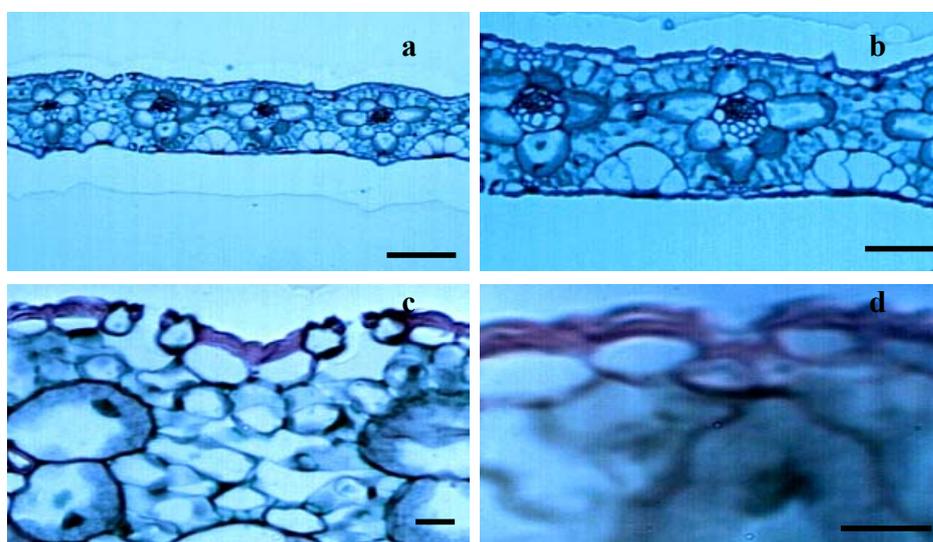


Figura 80 – Seções transversais das folhas recém-expandidas (FE) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $1,8 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50\mu\text{m}$ , (c)  $10\mu\text{m}$  e (d)  $10\mu\text{m}$

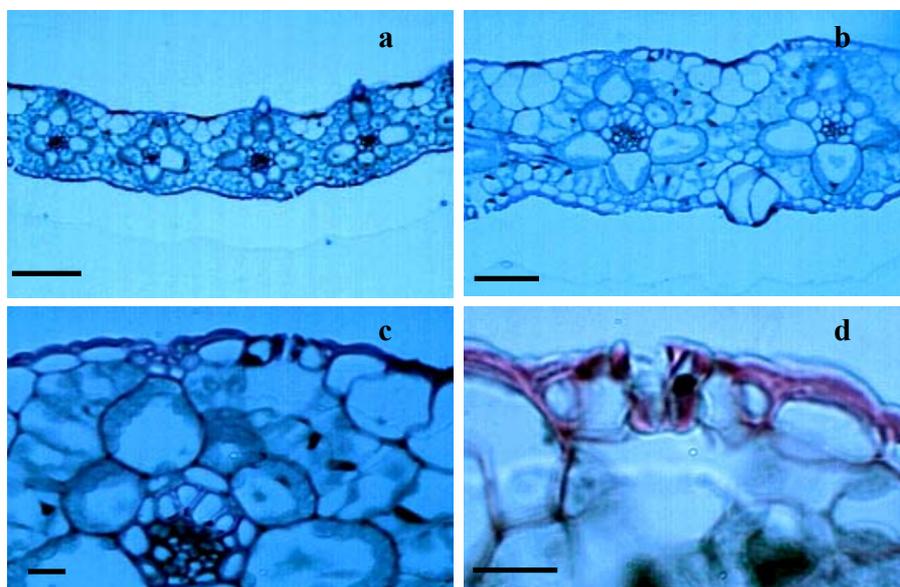


Figura 81 – Seções transversais das folhas recém-expandidas (FE) do capim-Marandu, cultivado em solução nutritiva com dose de Si de  $2,4 \text{ mmol L}^{-1}$ , destacando a superfície adaxial. Barras: (a)  $100 \mu\text{m}$ , (b)  $50\mu\text{m}$ , (c)  $10\mu\text{m}$  e (d)  $10\mu\text{m}$

O depósito de silício na epiderme ocorre na forma de sílica amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) na parede celular, e é de fundamental importância para a proteção mecânica da planta. A acumulação de silício nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada cuticular de sílica a qual, pela redução da transpiração, faz com que a exigência de água pelas plantas seja menor, além da proteção contra fatores bióticos, como ataque de pragas e doenças fúngicas.

Mapeando a porcentagem dos elementos que mais apareceram nessas células, através do uso da microsonda de raio-X do microscópio eletrônico de varredura, o silício representa 12,74%, o fósforo 14,70%, o Ca 9,08% e o potássio 1,89% (Figura 82). A análise de microsonda de raio-X na lâmina de folha madura do capim-Marandu (Figura 83) revelou a presença de silício nas células da epiderme. A distribuição do silício na folha foi apresentada pela microsonda de raio-X em arroz (Lux et al., 1999), em sorgo (Luxe et al., 2002) e em bambu (Lux et al., 2003).

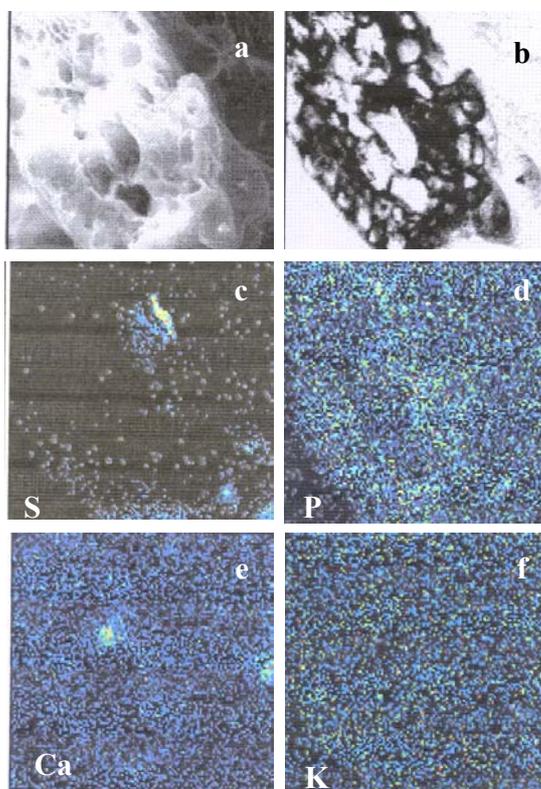


Figura 82 – Lâmina foliar madura do capim-Marandu observada usando um microscópio eletrônico de varredura (a, b). Microscopia eletrônica de varredura e análise de microsonda de raio-X apresentando sinais de silício (c), fósforo (d), cálcio (e) e potássio (f)

Pesquisas tem sido realizadas no intuito de investigar a distribuição, a deposição e a fisiologia da sílica nas gramíneas cultivadas incluindo trigo, arroz e aveia (Jones & Handreck, 1967; Kaufman et al., 1981; Hodgson & Sangster, 1990; Epstein, 1994). Vários mecanismos de deposição de sílica nas plantas têm sido considerados. Alguns trabalhos destacam a deposição de sílica como resultado da transpiração na superfície das partes aéreas, com a deposição de sílica ocorrendo ao longo dos tecidos condutores e deposições maiores são freqüentemente observadas nos tecidos da epiderme (Yoshida et al., 1962; Motomura et al., 2000).

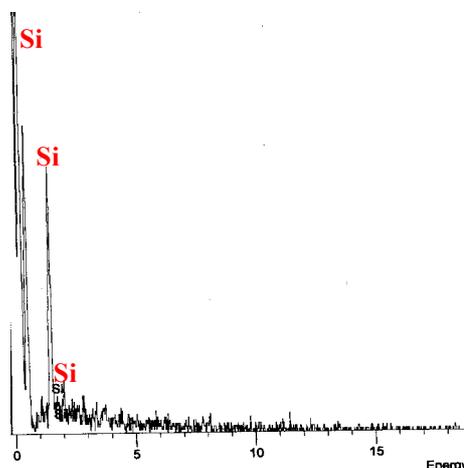


Figura 83 – Espectro obtido no microscópio eletrônico de varredura por análise de microsonda de raio-X, das células da epiderme da lâmina foliar madura do capim-Marandu

#### 4.8 Considerações gerais

O uso do silicato de cálcio (wollastonita) em conjunto com a adubação fosfatada (fosfato de cálcio, fosfato de potássio e fosfato de sódio) promoveu alterações químicas no Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico como o aumento do pH em  $\text{CaCl}_2$ . Nesse caso específico esse aumento foi uma alteração favorável, pois a princípio esse solo estava com o pH em  $\text{CaCl}_2$  de 4,6. Além de aumentar o valor do pH, o silicato promoveu diminuição nos teores de  $\text{H}^+$  e  $\text{Al}^{+3}$  no solo, além de aumentar a disponibilidade de fósforo no solo.

Os resultados mais expressivos em consequência da aplicação conjunta de silicato e fosfatos foram obtidos nas variáveis-respostas da planta, como a produção de massa seca da parte aérea, o número de perfilhos por vaso e o número de folhas verdes expandidas. Mantendo-se a dose de fósforo de  $10 \text{ mg dm}^{-3}$  e aumentando-se a dose de silício de  $150$  para  $450 \text{ mg dm}^{-3}$  foi possível verificar os maiores aumentos na produção de massa seca, no número de perfilhos e no número de folhas verdes expandidas. A massa seca aumentou de 2,6 e 1,4 vezes, o número de perfilhos incrementou de 1,54 e

1,36 vezes, respectivamente no primeiro e segundo cortes e o número de folhas verdes elevou-se de 1,6 vezes em ambos os cortes.

A concentração dos elementos nas partes da planta foi influenciada pela presença de fósforo e/ou de silício no solo, sendo que em poucas partes da planta a interação entre doses de fósforo e de silício foi significativa. A presença de fósforo no solo influenciou a concentração desse nutriente na maioria das partes da planta, enquanto que a aplicação de silício não influenciou a concentração de silício nas partes da planta; sendo que apenas a concentração média na parte aérea foi influenciada pela presença das doses de silício.

Esses resultados comprovam a importância da aplicação conjunta do silicato com o fosfato na melhoria das características químicas desse solo, na maior produtividade e melhor estado nutricional do capim-Marandu. A maioria destas respostas pôde ser obtida através da aplicação de altas doses de silício com doses baixas a médias de fósforo, podendo-se economizar na dose de fósforo quando se aplicam doses altas de silício.

## 5 CONCLUSÕES

- A combinação entre as doses de fósforo e de silício é favorável à produção de massa seca da parte aérea e aos números de perfilhos e de folhas e à área foliar total do capim-Marandu;
- As aplicações de doses medianas de fósforo (170 a 250 mg dm<sup>-3</sup>) combinadas com as altas doses de silício (375 e 450 mg dm<sup>-3</sup>) resultam nas respostas produtivas mais expressivas do capim-Marandu;
- As aplicações de silício (wollastonita) e de fósforo (fosfato de cálcio, fosfato de potássio e fosfato de sódio) promovem sensíveis variações nas concentrações e acúmulos desses elementos na parte aérea do capim-Marandu;
- As folhas do capim-Marandu apresentam deposição de sílica nas células da epiderme.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGARIE, S.; UCHIDA, H.; AGATA, W. et al. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). **Plant Production Science**, v.1, p.89-95, 1998.
- ALBUQUERQUE, E.S.B.; NEVES, L.J. Anatomia foliar de *Alpinia zerumbet* (Pers.) Burt e Smith (Zingiberaceae). **Acta Botânica Brasileira**, v.18, p.109-121, 2004.
- ALCÂNTARA, P.B.; BUFARAH, G. **Plantas forrageiras gramíneas e leguminosas**. São Paulo: Nobel, 1992. 150p.
- ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA. 1992. (Boletim Técnico, 6).
- ALMEIDA, J.C.R. de. Combinação de doses de fósforo e magnésio na produção e nutrição de duas braquiárias. Piracicaba, 1998. 81p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- ALMEIDA, J.C.R. de; MACEDO, M.C.M.; VALLE; C.B. do. Eficiência de diferentes fontes e doses de fósforo na produção de *Brachiaria decumbens* cv. Basilisk em areia quartzosa. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8., Brasília, 1996. **Anais**. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1996, p.350-353.

- ALVAREZ, V.V.H.; FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa-de-vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.49-55, 1990.
- ALVAREZ, V.V.H.; NOVAIS, R.F.; DIAS, L.E. et al. Determinação e uso do fósforo remanescente. Boletim Informativo: **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.27-33, 2000.
- ANDREW, C.S.; ROBINS, M.F. The effect of phosphorus on the growth, chemical composition, and critical phosphorus percentagens of some tropical pastures grasses. **Australian Journal of Agriculture of Research**, v.22, p.693-706, 1971.
- ARANTES, V.A. Aplicação de silício para arroz de sequeiro cultivado em material de quatro solos fase cerrado. Uberlândia, 1997. 42p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Uberlândia.
- BAHIA FILHO, A.F.C. Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do planalto central com diferentes características texturais e mineralógicas. Viçosa, 1982. 88p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.
- BAHIA FILHO, A.F.C.; BRAGA, J. M.; RESENDE, M. et al. Relação entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do Planalto Central. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.7, p.221-226, 1983.
- BALDEON, J.R.M. Efeito da ação alcalinizante e da competição entre silicato e fosfato na eficiência do termofosfato magnésiano e solos ácidos. Piracicaba, 1995. 88p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- BALL, T.B.; GARDNER, J.S.; ANDERSON, N. Identifying inflorescence phytolites from selected species of wheat (*Triticum monococcum*, *T. dicoccon*, *T. dicoccoides*, and *T. aestivum*) and barley (*Hordeum vulgare* and *H. spontaneum*) (Gramineae). **American Journal of Botany**, v.86, p.1615-1623, 1999.
- BARBOSA, D.S.; CAMARGO, M.S.; RAMOS, L.A. et al. Correção da acidez do solo em profundidade e disponibilidade de silício proporcionados pela aplicação silicato e calcário em lisímetros (compact disc). In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 2., Lavras, 2003. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.
- BATAGLIA, O.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R. et al. **Análise química de plantas**. Campinas: IAC, 1978. p.21-24. (Circular, 87).
- BATISTA, K. Respostas do capim-Marandu a combinações de doses de nitrogênio e enxofre. Piracicaba, 2002. 104p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- BEDIN, I.; FURTINI NETO, A.E.; RESENDE, A.V. et al. Fertilizantes fosfatados e produção da soja em solos com diferentes capacidades tampão de fósforo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.639-646, 2003.
- BITTENCOURT, V.C.; ZAMBELLO JUNIOR, E. Comportamento do fósforo em solos tropicais. I. Isotermas de adsorção. 23p. (CENA. Boletim Científico, 12). Piracicaba: CENA, 1973.
- BITTENCOURT, V.C.; ZAMBELLO JUNIOR, E. Comportamento do fósforo em solos tropicais. III. Cinética de retenção. 22p. (CENA. Boletim Científico, 33). Piracicaba: CENA, 1975.

CAMPOS, AL.C.; LABORIAU, L.G. Corpos silicosos em gramíneas do cerrados  
II. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.4, p.143-150, 1969.

CARVALHO, R. Interações silício-fósforo em Latossolo Vermelho-Escuro e Cambissolo cultivados com mudas de eucalipto. Lavras, 1999. 89p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras.

CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. **Informe anual del programa de pastos tropicales**. Fertilidade del suelo y nutrición de las plantas. 1982, p.171-194.

CESSA, R.M.A.; NOVELINO, J.O.; MARCHETTI, M.E. Aplicação de metassilicato e fosfato influenciando os níveis de Si e P em um LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (compact disc). In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 3., Uberlândia, 2004. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2004.

CORRÊA, L.A. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de *B. decumbens* Stapf, *B. brizantha* (Hochst.) Stapf. cv. Marandu e *P. maximum* Jacq., em latossolo vermelho-amarelo, álico. Piracicaba, 1991. 83p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

CORRÊA, L.A.; HAAG, H.P. Níveis críticos de fósforo para o estabelecimento de gramíneas forrageiras em latossolo vermelho amarelo, álico: II. Experimento de campo. **Scientia Agricola**, v.50, p.109-116, 1993.

CORRÊA, G.F. Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do Planalto de Viçosa. Viçosa, 1984. 87p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa.

- COSTA, N.L.; TOWNSEND, C.R.; MAGALHÃES, J.A. et al. Resposta de *Panicum maximum* c.v. Massai à fertilização fosfatada (compact disc). In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., Campo Grande, 2004. Campo Grande: SBZ, 2004.
- COUTO, W.; SANZONOWICZ, C.; LEITE, E.G. Adubação para o estabelecimento de pastagens consorciadas nos solos de cerrados. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO: ALIMENTO E ENERGIA, 6., Brasília, 1982. **Anais**. Planaltina: Embrapa, CPAC, 1982. p.61-78.
- CURI, N. Mineralogia e sua relação com o comportamento de solos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, 1993. **Anais**. Goiânia: SBCS, 1993. p.27.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise do solo**. 1997. 212p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação, 1999. 412p.
- EPSTEIN, E. Silicon in plants: Facts vs. concepts. In: DATNOFF, L.E., SNYDER, G.H., KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p.1-15. (Studies in Plant Science, 8).
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, USA, 1994, v.91, p.11-17.
- FARIA, R.J. Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo. Viçosa, 2000. 47p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

- FILIZZOLA, V.L.; BAUGARTNER, J.G. Efeito da calagem e da adubação com fósforo e zinco no desenvolvimento da *Brachiaria decumbens*. Jaboticabal, UNESP, 1984. 143p.
- FOY, C.D. Soil chemical factors limiting plant root growth. **Advances in Soil Science**, v.19, p.97-149, 1992.
- GHABRU, S.K.; ARNAUD, R.J.; MERMUT, A.R. Association of DCB extractable iron with minerals in coarse soil clays. **Soil Science**, v.149, p.112-120, 1990.
- HALLMARK, C.T.; WILDING, L.P.; SMECK, N.E. Silicon. Methods of Soil Analysis, 2. Chemical and Microbiological Properties, 1982. p.263-273. (Agronomy Monograph, 9).
- HAYWARD, D.M.; PARRY, D.W. Electron-probe microanalysis studies of silica distribution in barley (*Hordeum sativum* L.). **Anatomy Botanic**, v.37, p.579-591, 1973.
- HINGSTON, F.J.; POSNER, A.M., QUIRK, J.P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. **Journal of Soil Science**, v.23, p.177-192, 1972.
- HODGSON, J. **Grazing management: science into practice**. New York: Longman, 1990. 203p.
- HODSON, M.J.; SANGSTER, A.G. Observations on the distribution of mineral elements in the leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.), with particular reference to silicon. **Annals of Botany**, v.62, p.463-471, 1988.

- HOFFMANN, C.R. Nutrição mineral e crescimento da braquiária e do colômbio, sob influência das aplicações de nitrogênio, fósforo, potássio e enxofre em latossolo da região noroeste do Paraná. Lavras, 1992. 204p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras.
- HOSSAIN, M.T.; MORI, R.; SOGA, K. et al. Growth promotion and an increase in cell wall extensibility by silicon in rice and some other Poacea seedlings. **Journal of Plant Research**, v.115, p.23-27, 2002.
- JONES, L.H.P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plant and animals. **Advances in Agronomy**, v.19, p.107-149, 1967.
- KARNOVSKI, M.J. A formaldehyde-glutaraldehyde fixative of high osmolality for use in electron microscopy. **Journal of Cell Biology**, v.27, p.137-138, 1965.
- KAUFMAN, P.B.; DAYANANDAN, P.; TAKEOKA, Y. et al. Silica in shoots of higher plants. In: SIMPSON T.L.; VOLCANI B.E. **Silicon and siliceous structures in biological systems**. New York: Springer, 1981, p.409-449.
- KORNDÖRFER, G.H.; LEPSCH, I. Effect of silicon on plant growth and crop yield. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p.133-147. (Studies in plant science, 8).
- KORNDÖRFER, C.M.; KORNDÖRFER, G.H.; LANA, R.M.Q. et al. Correção da acidez do solo com silicato de cálcio e o papel do silício na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., Londrina, 2001. **Anais**. Londrina: SBCS, 2001. p.144.

- KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A. Efeito do silício no crescimento e desenvolvimento de plantas (compact disc). In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 2., Lavras, 2003. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.
- KORNDÖRFER, G.H.; ARANTES, V.A.; CORRÊA, G.F.; SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.623-629, 1999a.
- KORNDÖRFER, G.H.; COELHO, N.M.; SNYDER, G.H.; MIZUTANI, C.T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.101-106, 1999b.
- LAVRES JUNIOR., J. Combinações de doses de nitrogênio e potássio para o capim-Mombaça. Piracicaba, 2001. 115p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- LEITE, P. C. Interação silício-fósforo em Latossolo Roxo cultivado com sorgo em casa de vegetação. Viçosa, 1997. 84p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J.; ILLIUS, A.W. (Ed.) **The ecology and management of grazing systems**. London: CAB International, 1996, p.3-36.
- LITTELL, R.C.; MOTT, G.O. Computer assisted design and analysis of response surface experiments in agronomy. **Soil and Crop Society of Florida Proceedings**, v.34, p.94-97, 1975.
- LOPES, A.S. **Solos sob cerrado**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 162p.

- LUX, A.; LUXOVÁ, M.; MORITA, S. et al. Endodermal silicification in developing seminal roots of lowland and upland cultivars of rice (*Oriza sativa* L.). **Canadian Journal of Botany**, v.77, p.955-960, 1999.
- LUX, A.; LUXOVÁ, M.; HATTORI, T. et al. Silicification in sorghum (*Sorghum bicolor*) cultivars with different drought tolerance. **Physiologia Plantarum**, v.115, p.87-92, 2002.
- LUX, A.; LUXOVÁ, M.; MORITA, S. et al. Silicification of bamboo (*SPhyllostachys heterocycla* Mitf.) root and leaf. **Plant and soil** v.255, p.85-91, 2003.
- MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. In: DATNOFF, L.E., SNYDER, G.H., KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p.17-39. (Studies in Plant Science, 8).
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. Berlin: Academic Press, 1995. 674p.
- MARTINEZ, H.E.P. Níveis críticos de fósforo em *Panicum maximum* (Stapf) Prain, *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweickhardt, *Digitaria decumbens* Stent, *Hyparrhenia rufa* (Ness) Stapf, *Melinis minutiflora* Pal de Beauv, *Panicum maximum* Jacq. e *Pennisetum purpureum* Schum. Piracicaba, 1980. 90p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- MATOH, T.; KAIRUSMEE, P.; TOKAHASHI, E. Salt-induced damage to rice plants and alternation effect of silicate. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.32, p.295-304, 1986.
- McKEAGUE, J.A.; CLINE, M.G. Silica in soil solution. II. The adsorption of monosilicic acid by soil and by other substances. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 43, p. 83-95, 1963.
- McNAUGHTON, S.T.; TARRANTS, J.L. Grass leaf silicification: natural selection for an inducible defense against herbivores, *Eustachys paspaloides*, *Andropogon greenwayi*, *Panicum coloratum*. **National Academy of Sciences of the United States of America**, v.80, p.790-791, 1983.
- MEIRELLES, N.M.F.; WERNER, J.C.; ABRAMIDES, P.L.G. et al. Nível crítico de fósforo em capim-colônia cultivado em dois tipos de solo: Latossolo-Escuro e Podzólico Vermelho-Amarelo. **Boletim de Indústria Animal**, v.45, p.215-232, 1988.
- MELO, S.P.; KORNDÖRFER, G.H.; KORNDÖRFER, C.M. et al. Silicon accumulation and water déficit tolerance in *Brachiaria* grasses. **Scientia Agricola**, v.60, p.755-759, 2003.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001. 849p.
- METCALFE, C.R. Secretary mineral substances – Silica. In: METCALFE, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of the Dicotyledons**, 2., Oxford: Clarendon Press, 1983, p.82-94.
- MEYER, J.H.; KEEPING, M.G. Past, present and future research of the role of silicon for sugarcane in southern Africa. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 2001. p.257-276. (Studies in plant science, 8).

- MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth of solution cultured cucumber plants. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.29, p.71-83, 1983.
- MONTEIRO, F.A.; WERNER, J.C. Efeitos das adubações nitrogenadas e fosfatada em capim-Colonião, na formação e em pasto estabelecido. **Boletim de Indústria Animal**, v.34, p.91-101, 1977.
- MONTEIRO, F.A.; COLOZZA, M.T.; WERNER, J.C. Enxofre e micronutrientes em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., Piracicaba, 2004. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2004. p.279-301.
- MONTEIRO, F.A.; MATTOS, W.T. de; MARTIM, R.A. Produção de matéria seca e sua distribuição na parte aérea de braquiária decumbens sob níveis de fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Goiânia, 1993. **Resumos expandidos**. Goiânia: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. p.249-250.
- MONTEIRO, F.A.; RAMOS, A.K.B.; CARVALHO, D.D. de. et al. Cultivo de *Brachiaria brizantha* Stapf. cv. Marandu em solução nutritiva com omissões de macronutrientes. **Scientia Agricola**, v.52, p.135-141, 1995.
- MOTOMURA, H.; FUJII, T.; SUZUKI, M. Distribution of silicified cells in the leaf blades of *Pleioblastus chino* (Franchet et savatier) Makino (Bambusoideae). **Annals of Botany**, v.85, p.751-757, 2000.
- NASCIMENTO, V.M.; ISEPON, O.J.; FERNANDES, F.M. Efeito de doses de NPK nas relações K, Ca e Mg em *Brachiaria decumbens* Stapf., cultivada em latossolo da região do cerrado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 27., Campinas, 1990. **Anais**. Campinas: SBZ, 1990. p.241.

- NOVAIS, R.F.; KAMPRATH, E.J. Parâmetros das isotermas de adsorção de fósforo como critério de recomendação de adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.3, p.37-41, 1979.
- NUNES, S.G.; BOOK, A.; PENTEADO, M.I.O. et al. **Brachiaria brizantha** cv. Marandu. Campo Grande: Embrapa, CNPGC, 1985, 31p. (Embrapa. CNPGC. Documento, 21).
- OKAZAKI, E.; CHAO, T.T. Boron adsorption and desorption by some Hawaiian soils. **Soil Science**, v.105, p.255-259, 1968.
- PASSOS, R.R.; FAQUIN, V.; CURI, N. et al. Fontes de fósforo, calcário e gesso na produção de matéria seca e perfilhamento de duas gramíneas forrageiras em uma amostra de um latossolo ácrico. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, p.227-233, 1997.
- PEREIRA, H.S.; KORNDÖRFER, G.H. Fontes de Si para as plantas (compact disc). In: SIMPÓSIO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 2., Lavras, 2003. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2003.
- PEREIRA, J.R.; FARIA, C.M.B. Sorção de fósforo em alguns solos do semi-árido do nordeste brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1179-1184, 1998.
- PLUCKNETT, D.L. The use of soluble silicates in Hawaiian agriculture. **University of Queensland**, v.1, p.203-223, 1971.
- PREMAZZI, L.M. Saturação por bases como critério para recomendação de calagem em cinco forrageiras tropicais. Piracicaba, 1991. 215p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

- RAIJ, B.van; **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. 343p.
- RAIJ, B.van; CAMARGO, O.A. Sílica solúvel em solos. **Bragantia**, v.32, p.223-231, 1973.
- RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).
- RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C. de; CANTARELLA, H. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC, 2001. 284p.
- ROSSI, C. Crescimento e nutrição do braquiário em latossolos dos campos das vertentes (MG) sob influência da calagem e fontes de fósforo. Lavras, 1995. 65p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras.
- ROSSI, C. Nutrição em fósforo e atividade da fosfatase ácida nos capins braquiária e colônia. Piracicaba, 1999. 121p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- ROSSI, C.; MONTEIRO, F.A. Doses de fósforo, épocas de coleta e o crescimento e diagnose nutricional nos capins braquiária e colônia. **Scientia Agricola**, v.56, p.1101-1110, 1999.
- ROY, A.C.; ALI, M.V.; FOX, R.L. et al. Influence of calcium silicate on phosphate solubility and availability in Hawaiian Latosols. In: SYMPOSIUM ON SOIL FERTILITY AND EVALUATION, Honolulu, 1971. **Proceedings**. New Delhi, 1971. p.805-815.

- SAKAI, W.S. Simple method for differential staining of parafilm embedded plant material using toluidine blue 01. **Stain Technology**, v.48, p.247-249, 1973.
- SANCHES, A.B. Efeitos do silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e planta, produção e qualidade em capim-Braquiaraõ [*Brachiaria brizantha* (Hoescht ex A. Rich.) Stapf cv. Marandu] sob intensidades de pastejo. Pirassununga, 2003. 140p. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo.
- SANGSTER, A.G.; HODSON, M.J.; TUBB, H.J. Silicon on deposition in higher plants. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, Flórida, 1999. **Program Agend and Abstracts**, Flórida, USA, 1999, p.4.
- SANTOS, A.R. Diagnose nutricional e respostas do capim-Braquiária submetido a doses de nitrogênio e enxofre. Piracicaba, 1997. 115p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SANTOS, I.P.A. Resposta a fósforo, micorriza e nitrogênio de braquiaraõ e amendoim forrageiro consorciados. Lavras, 1999. 158p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras.
- SANTOS, J.H.S. Proporções de nitrato e amônio na nutrição e produção dos capins aruana e marandu. Piracicaba, 2003. 81p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SARRUGE, J.R.; HAAG, H.P. **Análises químicas em plantas**. Piracicaba: ESALQ, 1974. 54p.
- SAS INSTITUTE. **The SAS-system for windows**: release 6.08 (software). Cary, 1996.

- SILVA, J.E.P. Parâmetros produtivos e atividade de fosfatase ácida em três gramíneas forrageiras cultivadas com doses de fósforo. Piracicaba, 1996. 81p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- SILVA, M.L.S. Disponibilidade de fósforo em solos com aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez. Ilha Solteira, 2001. 65p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista.
- SILVA, S.T.; LABORIAU, L.G. Corpos silicosos em gramíneas dos cerrados. III. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.5, p.167-182, 1970.
- SMYTH, T.J.; SANCHEZ, P.A. Effects of lime, silicate, and phosphorus applications to an Oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society of American Journal**, v.44, p.500-505, 1980.
- SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 2003. **Anais**. POTAFOS/ANDA. São Pedro, SP. 2003.
- SOUSA, D.M.G.; MARTHA, JUNIOR. G.B.; VILELA, L. Manejo da adubação fosfatada em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 21., Piracicaba, 2004. **Anais**. Piracicaba: FEALQ, 2004. p.101-138.
- SOUZA, J.A.; CURI, N.; GUEDES, G.A.A. Relação entre mineralogia e adsorção-dessorção de fósforo em alguns latossolos sob cerrado do planalto central. **Ciência e Prática**, v.15, p.103-111, 1991.
- TISDALE, S.L.; NELSONS, W.L.; BEATON, J.D. **Soil fertility and fertilizers**. 1985. 754p.

VALLS, J.F.M.; SENDULSKY, T. Descrição botânica: In: VALLS, J.F.M. Carta, 6 de julho de 1984. Campo Grande, p.4-6, 1984.

YOSHIDA, S. Effect of sílica and nitrogen supply on some leaf characters of the rice plant. **Plant and Soil**, v.31, p.48-56, 1969.

YOSHIDA, S.; OHMISHI, Y.; KITAGISHI, K. Histochemistry of silicon in plant. II. Localization of silicon within rice tissues. **Soil Science and Plant Nutrition**, v.8, p.36, 1962.

WERNER, J.C. **Adubação de pastagens**. Nova Odessa: Instituto de Zootecnia, 1986. 49p. (Instituto de Zootecnia. Boletim Técnico, 18).

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)