

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**CRESCIMENTO DE SORGO SUBMETIDO A DIFERENTES FORMAS E FONTES  
DE SILÍCIO**

**RAFAELA FUZARO BONADIO**

**ANTONIO NOLLA**  
(Orientador)

Monografia apresentada ao Curso de  
Agronomia, da Universidade Federal de  
Uberlândia, para obtenção do grau de  
Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia – MG  
Novembro - 2004

**CRESCIMENTO DE SORGO SUBMETIDO A DIFERENTES FORMAS E FONTES  
DE SILÍCIO**

APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA EM 25 / 11 / 2004

---

Prof. Dr. Antonio Nolla  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndorfer  
(Membro da banca)

---

Prof. Dra. Regina Maria Quintão Lana  
(Membro da banca)

Uberlândia – MG  
Novembro - 2004

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro agradeço lugar a Deus por permitir mais um acontecimento maravilhoso em minha vida, à minha família, em especial aos meus pais, Odenir e Maria Aparecida, que me deram a vida e me ensinaram a vivê-la com dignidade, que iluminaram os caminhos obscuros com afeto e dedicação para que eu trilhasse sem medo e cheia de esperança.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Antonio Nolla, por sua dedicação e paciência para comigo durante a realização desse trabalho, me apoiando e me incentivando nos momentos em que mais me senti insegura e também ao professor Dr. Gaspar H. Korndörfer e à professora Dr<sup>a</sup> Mônica S. de Camargo pelas chances oferecidas.

Ao Grupo de Pesquisa “Silício na Agricultura”, que me ajudaram a crescer principalmente como pessoa.

A todos os professores, Técnicos e Funcionários da Universidade Federal de Uberlândia e aos colegas da Agronomia.

Ao carinho dedicado por minhas “irmãs adotivas”: Ana Carolina, Lourena, Cordélia e Samira, às amigas que nunca esquecerei Fernanda, Juliana, Liuziane e Marcela que me compreenderam, estimularam e me enriqueceram com suas presenças e ternura.

E, finalmente, agradeço a tia Dinah Maria e família, que muitas vezes com lágrimas nos olhos me dirigiam um sorriso apenas para me animar.

## ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <b>RESUMO</b> .....                              | 04 |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                       | 05 |
| <b>2. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....            | 08 |
| 2.1. Silício no solo e nas Plantas.....          | 08 |
| 2.2. Fontes de Silício.....                      | 10 |
| 2.3. Escórias de Siderurgia.....                 | 12 |
| 2.4. Calcinação.....                             | 16 |
| 2.5. Silício x Produtividade.....                | 17 |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....               | 19 |
| 3.1. Local de Instalação e Condução.....         | 19 |
| 3.2. Solo.....                                   | 19 |
| 3.3. Tratamento e Metodologia de Calcinação..... | 20 |
| 3.4. Condução do Ensaio.....                     | 22 |
| 3.5. Determinações.....                          | 23 |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....           | 25 |
| 4.1. Si no Solo.....                             | 25 |
| 4.2. Si na Planta.....                           | 29 |
| <b>5. CONCLUSÕES</b> .....                       | 35 |
| <b>6. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....       | 36 |

## RESUMO

O silício (Si) é atualmente considerado um micronutriente para as plantas. Sua utilização na adubação pode proporcionar aumento na resistência ao estresse hídrico, aumento da capacidade fotossintética, diminuição do acamamento, redução da transpiração e aumento na resistência ao ataque de pragas e doenças. Uma fonte de Si viável na agricultura deve apresentar alto conteúdo de Si-solúvel, boas propriedades físicas, facilidade para a aplicação mecanizada, pronta disponibilidade para as plantas e baixo custo. No intuito de avaliar diferentes fontes quanto ao fornecimento de silício e à resposta da cultura de sorgo, foi montado um experimento em casa-de-vegetação, em vasos de 4 kg, cultivando-se sorgo em um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd). Os tratamentos foram distribuídos em blocos casualizados com 4 repetições. Incorporou-se, nos vasos, Sílica Gel (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si) e 150 kg ha<sup>-1</sup> de Si na forma de Serpentinó Natural, Serpentinó Calcinado, Mistura Física de 85% de Serpentinó Calcinado + 15% de KCl, 85% de Serpentinó Natural + 15% de KCl (calcinado após a mistura a 950 °C, além da testemunha (ausência de silício). A colheita do sorgo realizou-se aos 52 dias de cultivo, determinando-se o teor de Si no solo em ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup> e CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, a produção de matéria seca, teor de Si na parte aérea e o comprimento do sistema radicular. A aplicação de diferentes fontes e doses de silício não aumentaram a produção de matéria seca do sorgo. No entanto, a sílica gel foi a fonte que apresentou a maior acumulação de Si na parte aérea. A aplicação de doses de sílica gel aumentou o teor de Si disponível no solo, enquanto que as fontes de serpentinito não proporcionaram aumento. Quanto ao teor foliar e o Si acumulado, não houve diferença entre os tratamentos contendo serpentinito e a testemunha.

## 1. INTRODUÇÃO

O silício é atualmente considerado como micronutriente (Brasil, 2004), em função da sua utilidade para o crescimento e produção de muitas espécies. As plantas que mais respondem à utilização do silício são aquelas capazes de absorvê-lo e acumulá-lo no tecido foliar (10 a 15% de Si – Marschner, 1995), destacando-se as gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, trigo, milho, capim kikuyo, capim guiné, entre outras).

De modo geral, o Si é absorvido pelas plantas como ácido monossilícico –  $H_4SiO_4$  (Jones; Handreck, 1967), acumulando-se na parede celular. Com isso, acredita-se que o mecanismo de resistência da planta esteja associado com o teor de Si no tecido da parede celular, tornando-a mais resistente à degradação enzimática, ao ataque de pragas e doenças. Segundo Balastra et al. (1989), o silício é transportado pelo xilema e as maiores quantidades são depositadas na parede celular destes vasos. A forma de deposição de silício é como sílica amorfa e hidratada ou opala ( $SiO_2 \cdot nH_2O$ ), tornando-se imóvel e não mais se redistribui nas plantas.

De modo geral, a utilização de silício apresenta maior resposta à aplicação em solos arenosos, ácidos, com alto potencial de lixiviação, baixa saturação de bases e de Si trocável

e baixa relação sílica/sesquióxidos de Fe e Al. As fontes de Si disponíveis para a agricultura podem ser divididas em dois tipos: as fontes naturais e as sintéticas. As fontes naturais são minerais silicatados, geralmente metamórficos apresentando teores de SiO<sub>2</sub> total que pode variar de 15,0 até 50,0%. Dos inúmeros materiais utilizados como fonte de silício na agricultura, estão os agregados siderúrgicos, os silicatos de cálcio e magnésio, o cimento e os termofosfatos. Esses produtos já estão sendo utilizados em vários países e mais recentemente no Brasil.

Rico em silício e magnésio, o serpentinito é um mineral que pode ser utilizado como fertilizante para as culturas em função de apresentar Si em sua composição. Esse produto é tido como rejeito na extração da crisotila, mineral este utilizado na fabricação de produtos como fibrocimento, materiais de fricção, tecelagem, papéis e papelões.

O aproveitamento de resíduos na agricultura é pouco difundido pela pesquisa nacional. Porém é utilizado em várias partes do mundo, principalmente por países asiáticos (Agarie et al., 1996). Diante da possibilidade atual da reciclagem destes resíduos industriais na agricultura, existem fatores importantes a considerar: a utilização de um resíduo industrial abundante, como a escória de siderurgia; solo ácido e de baixa fertilidade; e uma cultura responsiva e economicamente importante. (Prado et al., 2001).

De forma geral, o serpentinito pode ser utilizado como adubação das culturas, por apresentar alguns nutrientes em sua composição, destacando-se o silício e o potássio. No entanto, para ser viável, o mesmo deve ser transformado, através de operações físico-químicas capazes de destruir fibras de amianto presentes no produto. Existem vários processos envolvidos nessa transformação, destacando-se a calcinação, que se caracteriza

pelo emprego de altas temperaturas (950°C), capaz de reduzir a toxicidade do amianto, e de transformar o Si insolúvel em formas disponíveis para a absorção vegetal.

Dessa forma, o trabalho foi desenvolvido para estudar os benefícios e/ou efeitos de diferentes fontes de silício na cultura de sorgo.



## **2. REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1. Efeito do silício no solo e nas plantas**

O Si é o segundo elemento mais abundante, em peso, na crosta terrestre e componente majoritário do grupo dos silicatos (Raij, 1991). Ocorre em altos teores nos solos, no entanto não ocorre na natureza em sua forma elementar, aparecendo na forma de óxidos, espinélios, principalmente na forma de silicatos (Dana, 1974) e no quartzo ( $\text{SiO}_2$  mineral inerte de areias). A sílica solúvel nos solos não foi estudada intensamente no passado, no entanto, a partir de 2004, espera-se um aumento na pesquisa, porque o silício é um micronutriente essencial (Brasil, 2004), isso se deu em função dos benefícios proporcionados quanto ao aumento no crescimento e produção de muitas espécies. Apesar de abundante na biosfera, os solos tropicais são conhecidos pela elevada taxa de dessilificação, em função do intenso intemperismo que ocorre nesses solos. Isso reduz as concentrações de silício solúvel dos solos, aliados à extração das culturas pelos sucessivos cultivos. Frente à elevada remoção de sílica dos solos, cujos representantes apresentam caráter ácrico, pode explicar-se a maior respostas das plantas à aplicação de Si em solos mais arenosos (Prado et al., 2001). Assim, os benefícios do Si nas plantas (gramíneas) e os

efeitos sobre o P disponível do solo despertaram, nos últimos anos, maior interesse no estudo desse elemento. Pesquisas realizadas por Raij e Camargo (1973) demonstraram que a região central do Brasil (áreas de cerrado) são pobres em Si disponível para as plantas nos horizontes superiores. Nestas condições, pode-se esperar resposta à aplicação de Si na forma de fertilizantes.

Os principais solos do cerrado são altamente intemperizados, com alto potencial de lixiviação, baixa saturação de bases, baixos teores de Si trocável e baixa redução (Ki)  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  e (Kr) Sílica/sesquióxidos de Fe e Al apresentando, portanto, baixa capacidade de fornecimento de Si disponível para as plantas (Brady, 1992; Silva, 1973). Estes solos apresentam como características; baixa fertilidade natural e alta acidez, além de possuírem elevados teores de sesquióxidos de Fe e Al que contribuem para a alta capacidade de adsorção de fósforo que pode ser reduzida com a adubação silicatada.

Do ponto de vista agrônômico, as principais formas de Si presente no solo são: Si solúvel ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$  - ácido monossilícico) que desprovido de carga elétrica torna possível sua absorção pelos vegetais (Raij; Camargo, 1973); Si adsorvido ou precipitado com óxidos de ferro e alumínio e os minerais silicatados (cristalinos ou amorfos). A solubilidade destes minerais depende da temperatura, pH, tamanho das partículas, composição química e presença de rachaduras (rupturas) na estrutura. A dissolução destes minerais também é afetada por fatores de solo tais como: matéria orgânica, teor de umidade, potencial de óxido-redução de sesquióxidos.

A absorção de Si da solução do solo dá-se de forma ativa, com o elemento acompanhando o fluxo de massa da água que penetra nas raízes das plantas.

O Si ao ser absorvido pelas plantas, é facilmente translocado no xilema, apresentando tendência natural a polimerizar (Barber; Shone, 1966). Na planta a sílica concentra nos tecidos suportes do caule e das folhas. Pode ser encontrada em pequenas quantidades nos grãos. No arroz, a sílica é acumulada nas células da epiderme e nas paredes das células. A translocação da sílica é regulada pela taxa de transpiração. A acumulação de sílica nos órgãos de transpiração provoca a formação de uma dupla camada de sílica cuticular, que ocasiona uma redução da transpiração aumentando assim a resistência a estresse hídrico (Takahashi, 2002).

Com relação à absorção de silício pelas plantas, Souza et al. (1995) observaram que o silício diminui o dano causado por concentração salina exagerada, diminuindo a absorção excessiva  $\text{Na}^+$ .

O silício tem sido eficiente na resistência a estresses abióticos, onde tem sido observada uma redução na toxidez de Mn, Al e Na, e redução da incidência de patógenos e no aumento da proteção contra insetos fitófagos (Epstein, 1994; Marschner, 1995).

## **2.2. Fontes de Silício**

De modo geral, existem no Brasil várias fontes ricas em silício, sendo como fonte padrão a Wollastonita, mineral composto por 45-50% de silício Total e de 5% de silício solúvel. No entanto, tem sido apontado outras fontes ricas em silício, capazes de disponibilizar silício na solução do solo, proveniente do contato do produto com o solo.

Entre as fontes de Si mais utilizadas, se encontra a wollastonita, escórias de siderurgia, silicato de cálcio (sub produto da produção de fósforo elementar) e o cimento (Snyder et al., 1986). Quanto à dosagem de silicatos a ser aplicada ao solo, essa deve ser baseada nos métodos de recomendação de calagem, isso porque os silicatos de Ca e Mg

apresentam comportamento e composição semelhante ao calcário (Nolla, 2004). Quando se necessita estudar o fornecimento de Si, não é recomendada a aplicação de doses superiores de 800 Kg ha<sup>-1</sup> de silicato em solos já corrigidos (Korndörfer et al., 2002). Doses de Si depende da fonte, do tipo de solo e da cultura em questão.

A aplicação de silicatos finamente moídos ao solo é uma prática agrônômica e comercial no Havaí e em outras partes do mundo, em função do incremento significativo de produtividade proporcionado. Os efeitos positivos da aplicação de silicatos são normalmente associados ao aumento na disponibilidade do Si solúvel, ao aumento do pH, bem como o aumento de micronutrientes que esses produtos podem conter. O silício solúvel pode ainda atuar ainda na redução do Fe e Mn tóxicos as plantas (Korndörfer et al., 1999a).

Imaizumi e Yoshida (1958) estabeleceram um critério para a aplicação de fertilizantes silicatados, segundo o qual, a cultura do arroz responderia ao Si no solo se a quantidade extraível em acetato de sódio (pH 4,0) fosse menor do que 4,9mg 100g<sup>-1</sup> de Si.

Segundo Okuda e Takahashi (1964) o Si aumenta o suprimento de oxigênio para as raízes e seu poder de oxidação, na proporção que é absorvido pela planta. Além disso, segundo os mesmos autores, as plantas desenvolvidas em solução nutritiva contendo Si produziram mais matéria verde, aumentaram a relação P/Fe e P/Mn e promoveram a translocação do fósforo absorvido para a parte aérea e panículas.

### **2.3. Escórias de Siderurgia**

As escórias siderúrgicas são resíduos da metalurgia do ferro, processadas em altas temperaturas (>1900 ° C). Nesse processo, uma carga composta por minério de ferro

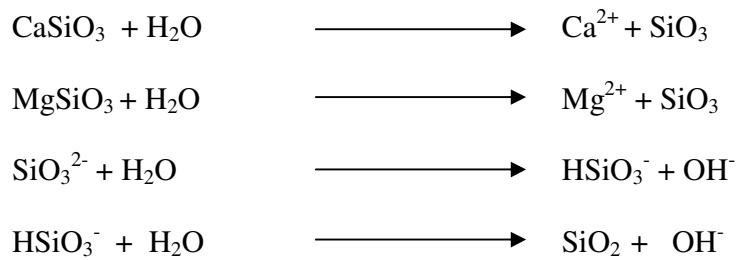
hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), limonita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ou magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), carvão coque e um fundente, calcário ( $\text{CaCO}_3$ ), é introduzida na parte superior do forno e, através da ação térmica, é obtido o ferro-gusa e a escória. A escória é o produto da reação do calcário com a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), principal impureza presente no minério de ferro ( $\text{SiO}_2 + \text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$  – Alcarde, 1992.)

A cada 4 toneladas de ferro-gusa produzidas são geradas, em média, 1 tonelada de escória de alto forno (Coelho, 1998). O Brasil é o sexto maior produtor de ferro-gusa, com uma produção anual de cerca de 25 milhões de toneladas, o que corresponde à geração de cerca de 6,25 milhões de toneladas de escória por ano. O estado de Minas Gerais é o maior produtor nacional, responsável por mais da metade de todo ferro-gusa produzido.

Em seu estado original, a escória é um material granulado, de composição química e granulométrica bastante variável, em função do tipo de processamento, do minério de ferro e do sistema de granulação utilizado. Durante o processo para a obtenção do ferro-gusa, a sílica do minério de ferro reage com o cálcio do calcário no alto forno, originando um silicato de cálcio com impurezas. O material fundido é resfriado ao ar e na água, seco e moído.

As escórias básicas de siderurgia podem ser utilizadas como corretivos de solo, e também como fonte de nutrientes. Esse produto é formado principalmente de silicato de cálcio e magnésio, contendo impurezas tais como P, S, Fe, Zn, Cu, B, Mo e Co. Os silicatos comportam-se de maneira similar aos carbonatos no solo e são capazes de elevar o pH, neutralizando o Al trocável e outros elementos tóxicos.

De acordo com Alcarde (1992), as reações de materiais silicatados que ocorrem no solo são:



As escórias são ricas em Ca e Mg e apresentam ainda, em sua composição, alguns macro e micronutrientes requeridos na agricultura e em plantações florestais, como P, Fe e Mn (Kluger, 1989).

A alta concentração de carbonatos de cálcio e magnésio possibilita o uso das escórias para correção da acidez do solo e como fonte de Ca e Mg para as plantas, em substituição ou como complemento à adubação tradicional desses elementos, especialmente para solos arenosos de baixíssima fertilidade. Da mesma forma que o calcário, a eficiência agrônômica da escória varia de acordo com a granulometria, a dosagem, o tipo de solo e o tempo de contato com o solo (Piau, 1991; Amaral Sobrinho et al., 1993; Oliveira et al., 1994).

A escória de alto forno apresenta maior liberação de K e a escória de aciaria apresenta maior disponibilidade de Ca. A granulometria mais fina desses produtos permite uma maior reatividade com o solo, tanto nos arenosos quanto nos argilo-arenosos. Escórias de alto forno com partículas menores que 0,3 mm são mais eficientes no fornecimento de Ca e Mg para o solo, enquanto que as mais grosseiras, com partículas maiores que 2,0mm são as menos efetivas (Oliveira et al., 1994). Novais et al. (1993) estudando o cultivo de *Eucalyptus urophylla*, observaram que foram necessárias maiores quantidades de escórias de alto forno de 2,0mm em relação à de 0,3mm para a produção da mesma quantidade de matéria seca por mudas.

Além disso, a aplicação de escória enriquecida com P, devido à baixa concentração desse elemento no resíduo em plantios do eucalipto, indicam bons resultados quando aplicada juntamente com rocha fosfatadas e fertilizantes químicos, proporcionando a obtenção de plantas de *Eucaliptus calmodulensis* mais desenvolvidas aos 7 anos de idade (Oliveira et al., 1994).

O baixo custo dos calcários comerciais, a alta concentração de metais pesados (Tabela 1) são alguns dos fatores que limitam, atualmente, o uso de escórias. (Oliveira et al., 1994). Os agregados siderúrgicos de alto forno possuem significativas quantidades de metais pesados, além de teores elevados de SiO<sub>2</sub>. Quanto à contaminação do solo por metais pesados, nem todos os agregados siderúrgicos podem ser utilizados na agricultura, pois os silicatos de Ca e Mg viáveis para a agricultura devem apresentar baixos teores de metais pesados (Korndörfer et al., 2002).

O termofosfato é uma fonte rica em silício. Segundo Freire (1985), a aplicação de termofosfato aumentou a produtividade do arroz, em função do fósforo, e se destacou de outros produtos ricos em fósforo, por apresentar silício e magnésio em sua composição. Esse resultado é atribuído principalmente ao Si, porque este aumenta o poder oxidante das raízes de arroz, favorecendo a oxidação e disposição (precipitação) do Fe na superfície das raízes, diminuindo assim a sua absorção e toxicidade.

**TABELA 1**– Concentração de materiais pesados e elementos químicos em escória de alto forno.

| <b>ELEMENTO</b> | <b>CONCENTRAÇÃO</b><br>g kg <sup>-1</sup> | <b>ELEMENTO</b> | <b>CONCENTRAÇÃO</b><br>mg kg <sup>-1</sup> |
|-----------------|---|-----------------|--|
| <b>Ca</b>       | 270                                       | <b>Mo</b>       | 26   |
| <b>Mg</b>       | 37  | <b>Zn</b>       | 545  |
| <b>K</b>        | 7,8                                       | <b>Cu</b>       | 358  |
| <b>P</b>        | 0,5                                       | <b>B</b>        | 84   |
| <b>S</b>        | 0,4                                       | <b>Pb</b>       | 205  |
| <b>Fe</b>       | 35,2                                      | <b>Cr</b>       | 975  |
| <b>Al</b>       | 34,8                                      | <b>Ba</b>       | 341  |
| <b>Ti</b>       | 2,0                                       | <b>Cd</b>       | 16   |
| <b>Mn</b>       | 14  | <b>Sr</b>       | 12,79                                      |
|                 |   | <b>Co</b>       | 2,0  |

Fonte: PIAU (1991).

O Serpentinó é outro produto fonte de silício, que pode ser utilizado na agricultura. Trata-se de um mineral composto principalmente por magnésio e silício, que possui uma camada estendida de fibras nas formas de lizardita, antigorita, crisotila (Kim et al., 2003).

O serpentinito, como aparece na natureza apresenta os átomos de Mg, Si e O ligados com caráter 50% covalente e 50% iônico; resultando em uma ligação difícil de ser rompida e caracterizada pela insolubilidade do Mg e Si em ácidos fracos. De aparência verde escura e dureza entre 3-5 D (Cheng et al., 2002), o serpentinito pode ser utilizado como rocha ornamental. Baronnet et al. (1996) em estudos sobre tipologia e desenvolvimento natural da crisotila e do serpentinito poligonal, demonstraram que as fibras freqüentemente ocorrem



intercaladas com a crisotila nas veias do serpentinito e na rocha matriz. As fibras extraídas podem ou não ser carcinogênicas. No Brasil e Canadá, são do tipo crisotila, cujo cristal possui uma fibra com diversas camadas, o que dá a flexibilidade à fibra reduzindo sua potencialidade carcinogênica. Aquelas extraídas na Europa, que são do tipo anfibólios, mais rígidos, dispostos paralelamente, tornando a fibra não flexível e o produto carcinogênico.

#### **2.4. Calcinação.**

Foi estudada intensivamente no passado, a calcinação de rocha calcária,  $\text{CaCO}_3$ , para formar  $\text{CaO}_{(s)}$  e  $\text{CO}_2_{(g)}$ . Os três processos chave para o controle da taxa de calcinação foram articulados por Satterfield e Feakes, a saber: (i) transferência de calor, (ii) Transferência de massa, (iii) e a reação química (Acke et al., 1997). Khinast et al., (1996), complementou esta lista com a difusão de  $\text{CO}_2$  no sistema de poro das partículas.

Segundo Rosenquist, (1974), a calcinação é o nome dado a todos os processos de decomposição térmica em altas temperaturas ( $\approx 950^\circ\text{C}$ ) em presença de ar. Esta não é utilizada para a viabilização de todos os materiais (rejeitos) na agricultura, sendo viável apenas quando se quer aumentar a concentração de Si em materiais onde a disponibilização desse elemento é baixa (pouco disponível para as plantas). Assim, sendo o serpentinito um rejeito da extração da crisotila, e tendo como característica agronômica à possibilidade de substituir o calcário como corretivo da acidez do solo, por também disponibilizar ânions capazes de corrigirem esta, a calcinação do serpentinito vem despertando interesse quanto a sua utilização na agricultura. Diversos estudos foram feitos quanto ao desperdício de serpentinito em vários campos (Ministério de Negócios Econômicos, 1996,; Kanari et al., 1998; Carniglia, 1992,; Tsai al de et., 1988; Song, 1978,; Levin et al., 1964). Por exemplo, produção de fertilizante, melhoria do solo, extração de silicato amorfo (Ministério de

Negócios econômicos, 1996), e extração de magnésio (Kanari et al., 1998; Tsai et al., 1988). Devido a sua composição teórica de SiO<sub>2</sub> (34.3%), MgO (44.1%), Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (6%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (0.2%) e CaO (0.45%), o serpentinito também é utilizado em processos onde estão incluídas, perda de água de cristalização, transformações alotrópicas, ou formação de outros compostos; neste caso a crisotila e o serpentinito perdem água de cristalização e se transformam em forsterita e clinoenstatita (Song, 1978; Cheng et al., 2002).

Dessa forma a calcinação simples do serpentinito tem 2 objetivos: destruir as fibras de crisotila, tornando o produto menos perigoso a saúde ocupacional e produzir um material onde o silício e o magnésio estejam mais disponíveis ( de acordo com Cheng et al., 2002 esse aumento de solubilidade se deve a cinética da formação das novas ligações, pois o resfriamento ocorre mais rápido que a movimentação dos átomos, impedindo que eles ocupem seu lugar no reticulado cristalino, gerando estruturas amorfas ou pouco cristalizadas).

## **2.5. Silício x Produtividade**

A maioria dos trabalhos com silício estão relacionados com as gramíneas. Em regiões tropicais úmidas, uma alta taxa de intemperismo tem resultado no melhor desenvolvimento do arroz em solos ricos em óxidos de ferro e alumínio, mas pobres em cátions básicos e silício (Juo; Sanchez, 1986). De acordo com esses mesmos autores, o teor de Si nos solos tropicais, como nos Latossolos, por exemplo, é cerca de 5 a 10 vezes menor do que o teor de Si nos solos de regiões temperadas. Isso explica a baixa produtividade de arroz nos solos tropicais e subtropicais quando comparados com solos de clima temperado (Takahashi et al., 1980). No entanto os benefícios do Si variam de uma espécie vegetal para outra. Muitos estudos mostram que o Si tem efeito direto e indireto no crescimento do arroz

(Takahashi et al., 1990). Em sementeiras, aplicações de silicato aumentaram o número de folhas e o peso seco de plantas de arroz (Lee et al., 1985). O Si também aumentou o número de espiguetas na panícula e favoreceu uma melhor formação da casca dos grãos, influenciando na qualidade desses (Mizuno, 1987; Korndörfer et al., 1999a).

Segundo White et al. (1991), a cultura do sorgo exerce grande função na alimentação animal, devido as suas características bromatológicas adequadas à produção de silagem, que por sinal são semelhantes à silagem de milho.

A cultura do sorgo tem como vantagem a tolerância à seca quando comparado à cultura do milho, e apresenta custo de produção mais reduzido quando comparado ao milho (Resende, 1991 ; Zago, 1999).

Para Thiagalingan et al. (1975) a aplicação de silício na cultura do sorgo reduziu o ataque de fungos, (*Monochaetia*) por formar uma barreira mecânica capaz de reduzir a intensidade de penetração do patógeno nas células do sorgo.

Além do efeito positivo do silício, as fontes de silício apresentam poder corretivo, e segundo Galvez et al. (1989), em solos com características de alto teor de alumínio tóxico, a aplicação de escórias reduziu a toxicidade de Al e aumentou significativamente a produtividade do sorgo.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Local de instalação**

O experimento foi instalado na casa de vegetação da Universidade Federal de Uberlândia - M.G., no período de dezembro de 2003 a março de 2004.

#### **3.2 Solo**

Utilizou-se como base experimental um Latossolo Vermelho distrófico típico (LVd), coletado na região de Monte Alegre – MG, Triângulo Mineiro (Embrapa, 1999). Este solo foi previamente escolhido devido à sua baixa quantidade de potássio e silício, de modo a apresentar um aumento na produção do sorgo quando aplicadas fontes capazes de disponibilizar Si na solução do solo, além de interferir pouco no tratamento onde será calcinado o serpentinito com o cloreto de potássio. O experimento foi montado em vasos com 4 quilos de solo para a cultura. A caracterização química do solo está descrita na Tabela 2.

**TABELA 2.** Caracterização química do Latossolo Vermelho distrófico típico utilizado como base experimental.

| pH    | P                   | K  | Al  | Ca  | Mg  | H+Al | SB  | t   | T | Si  | V                   | M        | M.O. |                    |
|-------|---------------------|----|---|-----|-----|------|-----|-----|---|-----|---------------------|----------|------|--------------------|
| 1:2,5 | mg dm <sup>-3</sup> |    | -----cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ----- |     |     |      |     |     |   |     | mg dm <sup>-3</sup> | ----%--- |      | g kg <sup>-1</sup> |
| 4,70  | 2,5                 | 14 | 1,1   | 0,1 | 0,1 | 5,6  | 0,2 | 1,3 | 6 | 0,9 | 4                   | 83       | 16   |                    |

P, K = (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025N) ; Al Ca, Mg = ( KCl 1N) ; M.O. = (Walkley-Black) SB = Soma de Bases; t = CTC efetiva; H+Al = método SMP; T = CTC a pH 7,0; V = Saturação por bases; m = Saturação por alumínio; Si = CaCl<sub>2</sub> 0,01mol L<sup>-1</sup>.

Para a montagem dos tratamentos, o solo foi balanceado com nitrogênio, fósforo, enxofre e um coquetel de micronutrientes (FTE BR 12). As dosagens estão apresentadas na Tabela 3. Procedeu-se ao balanceamento de cálcio, magnésio, silício e potássio no solo. Este balanceamento foi calculado para fazer a correção do solo e montagem dos tratamentos.

**TABELA 3.** Adubação de balanceamento dos nutrientes aplicados no Latossolo Vermelho distrófico típico.

| Nutrientes                     |                               |                                |           |
|--------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|-----------|
| N                              | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | S                              | FTE BR 12 |
| -----mg kg <sup>-1</sup> ----- |                               | -----kg ha <sup>-1</sup> ----- |           |
| 200                            | 200                           | 80                             | 200       |

### 3.3 Tratamentos e Metodologia de calcinação

Os tratamentos utilizados foram: Sílica Gel (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si), 150 kg ha<sup>-1</sup> de Si na forma de Serpentinó Natural Serpentinó Calcinado, Mistura Física

de 85% de Serpentinó Calcinado + 15% de KCl, 85% de Serpentinó Natural + 15% de KCl (calcinado após a mistura) a 950 °C, e a testemunha.

Os tratamentos foram distribuídos na casa-de-vegetação em blocos ao acaso (DBC) com quatro repetições. Os resultados foram analisados por meio da análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5%. Para as doses de silício foram utilizados modelos matemáticos (análise de regressão).

Utilizou-se como fonte de Si a sílica gel e o serpentinó, coletado de pilhas depositadas em pátio de estoque de rejeito. O material foi triturado em moinho, passando em peneira de 0,3 mm (ABNT nº 50). Para a aplicação do material calcinado, o serpentinó foi calcinado em mufla (COEL HW 1000) no Laboratório de Fertilidade da Universidade Federal de Uberlândia a uma temperatura constante de 950° C.

Foram pesadas as proporções de serpentinó e KCl para o tratamento com 85% de silício e 15% de cloreto de potássio, e misturadas em sacos plásticos, para posterior calcinação. O material foi transferido para cadinhos de porcelana (33ml de volume), tendo aproximadamente 2 centímetros de altura, em seguida foram colocados na mufla a 950°C. O material foi calcinado por 2 horas, deixando-se resfriar por aproximadamente 4 horas, afim de que se conseguisse retirar-lo de dentro da mufla. O Serpentinó é um péssimo condutor de calor, assim para cada 1cm de altura do material, foi deixado 1 hora dentro da mufla. As amostras foram retiradas dos cadinhos, moídas em almofariz, procedendo-se à quantificação do teor de silício total e solúvel (Korndörfer et al., 2004), o teor de cálcio, magnésio e potássio (Embrapa, 1997), como demonstrado na Tabela 4.

**TABELA 4.** Teores de Silício total e solúvel, Ca, Mg e K contido nas fontes utilizadas no experimento.

| FONTES  | Si    | Si      | CaO         | MgO  | K <sub>2</sub> O |
|---|-------|---------|-------------|------|------------------|
|   | Total | solúvel | -----%----- |      |                  |
| Sílica Gel  | 20,0  | 4,9     | 0,0         | 0,0  | 0,0              |
| Serpentinito Natural  | 14,3  | 0,01    | 1,8         | 20,2 | 0,0              |
| Serpentinito Calcinado  | 9,5   | 0,07    | 8,8         | 20,3 | 0,0              |
| 85% de mistura física de serpentinito calcinado + 15% de KCl      | 7,5   | 0,02    | 6,9         | 13,5 | 9,2              |
| 85% de serpentinito natural + 15% de KCl (calcinado após mistura) | 7,1   | 0,05    | 0,6         | 10,9 | 3,6              |

### 3.4 Condução do ensaio

O solo foi peneirado, pesando-se 4 quilos para cada vaso com posterior mistura com os tratamentos (fontes de Si) de modo que ficassem bem homogêneos. Os vasos foram trocados semanalmente de lugar dentro dos blocos, para reduzir os fatores externos que pudessem interferir na confiabilidade do experimento.

A semeadura do sorgo (PIONNER XS 475-2002) foi realizada no dia 26 de janeiro, com aproximadamente 10 sementes por vaso e seu desbaste ocorreu no dia 15 de fevereiro, permanecendo três plantas por vaso. A colheita do sorgo foi realizada 52 dias após semeadura.

### 3.5. Determinações

Determinou-se o acúmulo de matéria seca, e analisou-se o silício no solo em  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  e silício no solo em ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (Korndörfer et al., 2004), e o teor de silício na parte aérea (folha + caule) (Korndörfer et al., 2004).

Para a determinação do Comprimento do sistema radicular, utilizou-se a metodologia descrita por Tennant (1975). Segundo Nolla e Anghinoni, (2004), espécies que apresentam raízes finas, observa-se uma maior sensibilidade na estimativa do comprimento radicular, por isso a escolha do método acima citado.

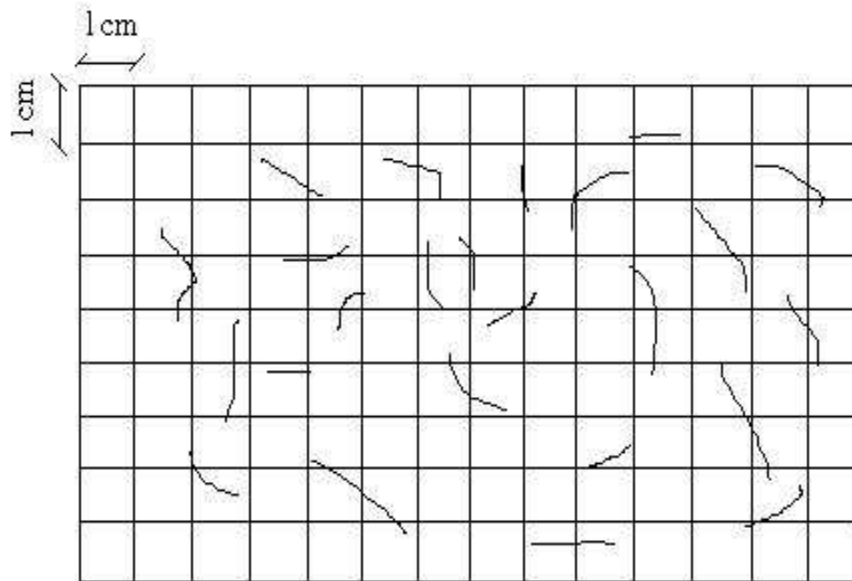
Os materiais utilizados para a contagem das raízes foram: transparência quadriculada em  $1 \times 1 \text{ cm}$ , balança analítica de quatro casas decimais e contador manual.

Para a preparação, as raízes foram separadas do solo, lavadas em água, para remoção do solo aderido, com posterior armazenagem no freezer em sacos plásticos. O congelamento fez-se necessário para que as raízes não perdessem suas características originais.

As raízes foram descongeladas, lavadas em água e secas em papel toalha. Pesou-se o sistema radicular em balança analítica com a precisão de quatro casas decimais. Pesou-se uma alíquota representativa das raízes de cada parcela, espalhando-se aleatoriamente em cima da folha de transparência quadriculada (Figura 1). Tomou-se cuidado para que as raízes não apresentassem sobreposição.

A contagem foi efetuada observando-se a intersecção das raízes com os eixos horizontal e vertical do sistema de grades, com o contador manual registrando-se o número de interceptos das raízes.





**FIGURA 1.** Esquema do sistema graduado com 1x1 cm com raízes distribuídas para contagem.

Para a estimativa do comprimento do sistema radicular, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$CR = N^{\circ} \text{ interceptos} \times FC$$

$$FC = 0,7857$$

Foi utilizado o programa estatístico SANEST para a avaliação dos dados, onde foi utilizado análise de regressão polinomial para a curva de sílica gel. Para os tratamentos que continham o serpentinito, foi utilizado o teste de médias (Tukey com 5,0 % de significância).

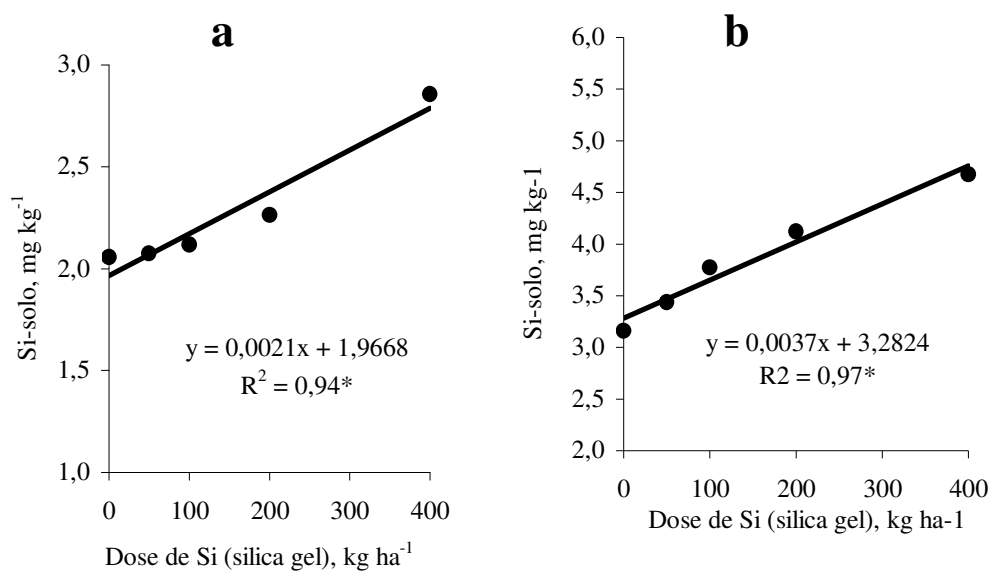
## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Silício no solo**

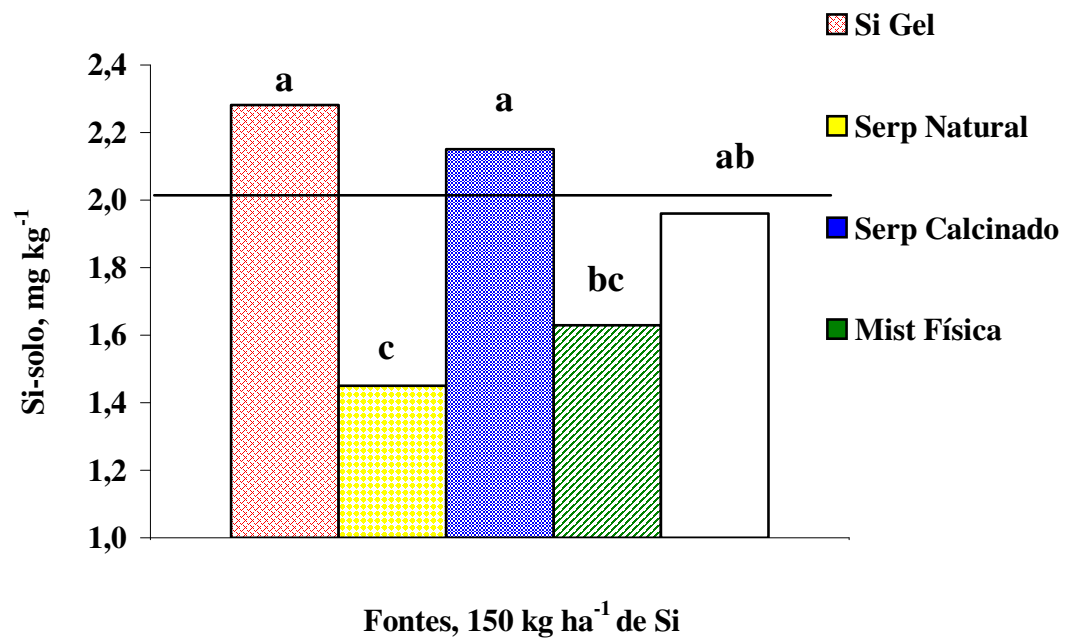
A análise dos teores de silício extraído no solo, para os extratores  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (Figura 2a), e ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (Figura 2b), demonstraram um aumento linear e crescente. Assim, à medida que aumentou a dose de Si aplicado, observou-se maior liberação do Si da fonte para o solo. Entretanto, pode-se observar que o extrator ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  apresentou maiores teores de silício extraído no solo em relação ao cloreto de cálcio, provavelmente por ser um extrator que superestima o teor de silício disponível (possui um maior poder de extração do silício), solubilizando pequenas cadeiras de Si polimerizado, indisponível para a planta, ou mesmo o silício presente nas bordas quebradas dos argilominerais (Korndörfer et al., 1999a). Quanto à aplicação de  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de fontes silicatadas, pode-se observar que a sílica gel e o serpentinito calcinado disponibilizaram mais silício em relação as demais fontes, não diferindo estatisticamente do tratamento 85% de serpentinito natural + 15% de KCl calcinado após mistura.

As fontes que apresentaram os menores teores de silício no solo foram o serpentinito natural e a mistura física de 85% de serpentinito calcinado + 15% de KCl com

o uso do extrator  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (Figura 3). Provavelmente, isso ocorreu em função em função de possuírem baixa quantidade de silício disponível.



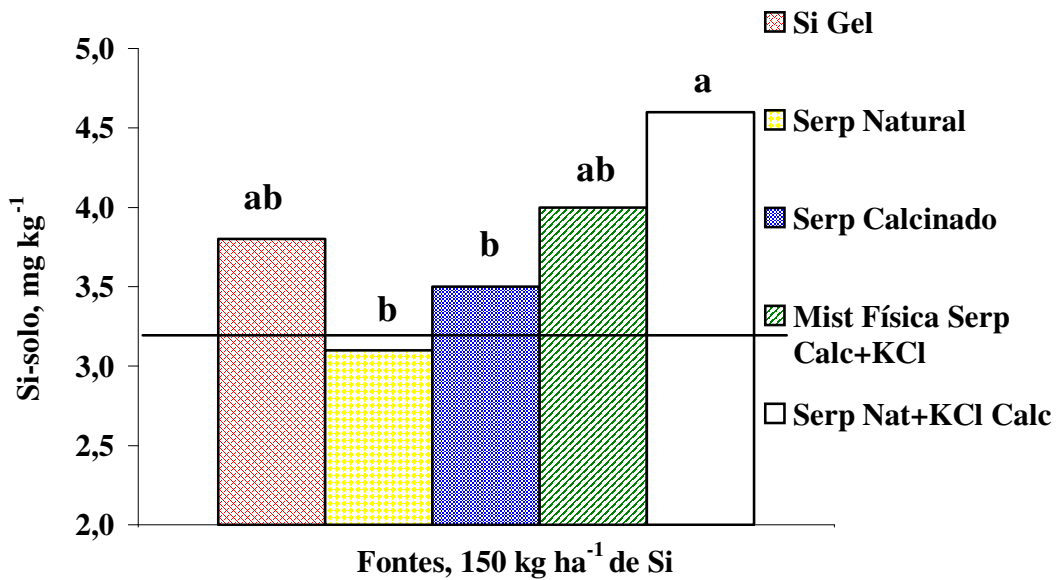
**FIGURA 2.** Teor de Si no solo  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  (a) e teor de Si no solo extraído com ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  (b) em função da aplicação de doses crescentes de sílica gel, após a colheita do sorgo.



**FIGURA 3.** Teor de Si no solo extraídos com  $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$  em função da aplicação de fontes silicatadas.

D.M.S. (Diferença Mínima Significativa pelo teste de Tukey 5%) = 0,5.

Quando utilizou-se o ácido acético como extrator de silício no solo, observou-se que o serpentinito calcinado e o serpentinito natural apresentaram baixa solubilidade. O tratamento 85% de serpentinito natural + 15% de KCl calcinado após mistura, liberou mais silício para o solo, não diferindo dos tratamentos mistura física de 85% de serpentinito calcinado + 15% de KCl e da sílica gel (Figura 4).



**FIGURA 4.** Teor de Si no solo extraídos com ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup> em função da aplicação de fontes silicatadas.  
D.M.S. (Diferença Mínima Significativa pelo teste de Tukey 5%) = 1,02.

Observando os teores de cálcio e magnésio e o pH do solo, percebe-se que onde foram aplicados sílica gel e o serpentinito, não houve diferença entre os tratamentos em função do balanceamento dos tratamentos. Isto é importante, pois demonstra que as diferenças entre os tratamentos se devem exclusivamente ao efeito do Si, e que o pH, Ca e Mg não interferiram nos resultados (Tabela 5).

**TABELA 5.** Teores de cálcio, magnésio e pH do solo cultivado com o sorgo após colheita

| Tratamentos  | Ca                                 | Mg  | pH                |
|--|------------------------------------|-----|-------------------|
|  | cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> |     | CaCl <sub>2</sub> |
| Sílica Gel – 0 kg ha <sup>-1</sup> Si  | 3,2                                | 0,6 | 4,6               |
| Sílica Gel – 50 kg ha <sup>-1</sup> Si   | 2,7                                | 0,4 | 4,7               |
| Sílica Gel – 100 kg ha <sup>-1</sup> Si  | 3,2                                | 0,6 | 4,7               |
| Sílica Gel – 200 kg ha <sup>-1</sup> Si  | 3,1                                | 0,5 | 4,7               |
| Sílica Gel – 400 kg ha <sup>-1</sup> Si  | 2,9                                | 0,6 | 4,6               |
| Serpentinito Natural – 150 kg ha <sup>-1</sup> Si  | 3,0                                | 0,4 | 4,6               |
| Serpentinito Calcinado – 150 kg ha <sup>-1</sup> Si  | 2,4                                | 0,4 | 4,7               |
| Mistura física de 85% de serpentinito calcinado + 15% de KCl – 150 kg ha <sup>-1</sup>         | 2,6                                | 0,4 | 4,7               |
| 85% de serpentinito natural + 15% de KCl (calcinado após mistura) – 150 kg ha <sup>-1</sup> Si | 2,5                                | 0,5 | 4,7               |

#### 4.2. Silício na planta

Observando-se os teores de silício na parte aérea (caule + folhas) do sorgo, percebe-se que a aplicação de doses crescentes de sílica gel no solo proporcionou um aumento na absorção de silício (Figura 5). Isso já era esperado, pois a aplicação de doses crescentes de silício no solo proporcionaram um incremento de silício em solução, de forma que o sistema radicular da planta pudesse absorver maiores quantidades de silício. Comparando-se as diferentes formas de serpentinito com a sílica gel, percebe-se que a sílica gel possibilitou o maior acúmulo e translocação de silício para a parte aérea das plantas, diferindo dos demais tratamentos onde foram adicionadas as fontes contendo o serpentinito, os quais não diferiram estatisticamente entre si, (Figura 6).

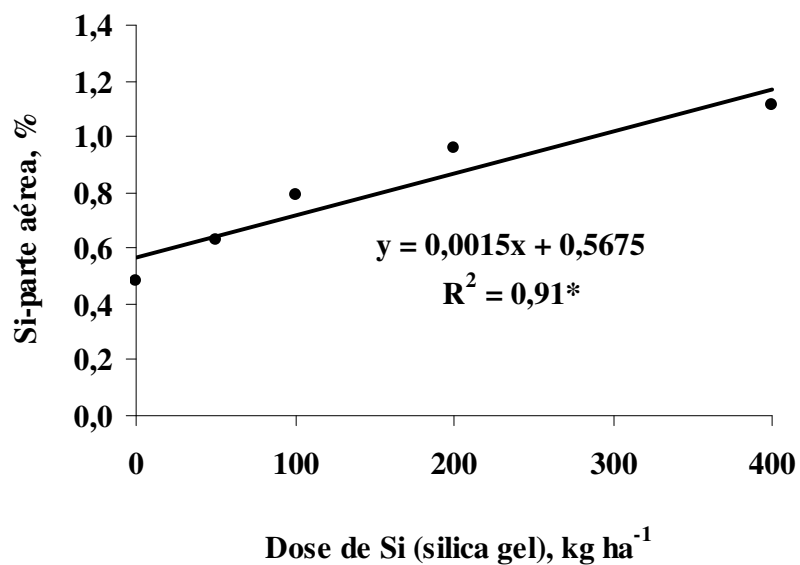


FIGURA 5. Relação entre doses de Si nos teores de silício na parte aérea do sorgo.

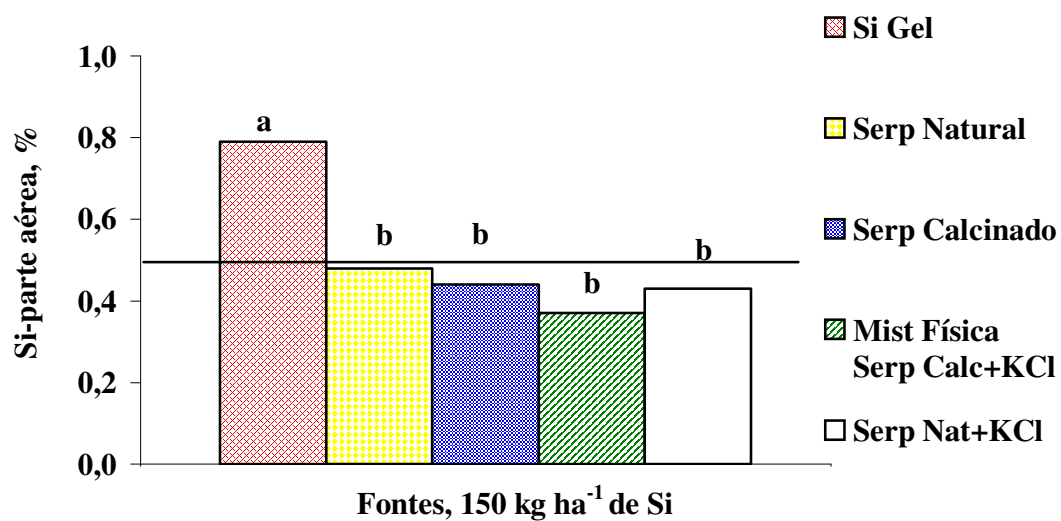


FIGURA 6. Relação entre fontes de Si nos teores de silício na parte aérea do sorgo. D.M.S. (Diferença Mínima Significativa pelo teste de Tukey 5%) = 0,2.

A calcinação e/ou a aplicação de cloreto de potássio, que reduz o ponto de fusão do serpentinito, não aumentou o acúmulo de matéria seca (Tabela 6), demonstrando a baixa eficiência do serpentinito natural ou calcinado. É importante destacar que a coleta da parte aérea das plantas de sorgo foi efetuada no caule e folhas, com posterior mistura. Dessa forma, se a análise tivesse sido efetuada apenas no tecido foliar, poderiam ser observadas as diferenças esperadas com relação à calcinação e a adição de cloreto de potássio, uma vez que o silício se deposita, preferencialmente, no tecido foliar (Korndörfer et al., 1999b).

**TABELA 6.** Fontes de Si na acumulação de matéria seca de plantas de sorgo.

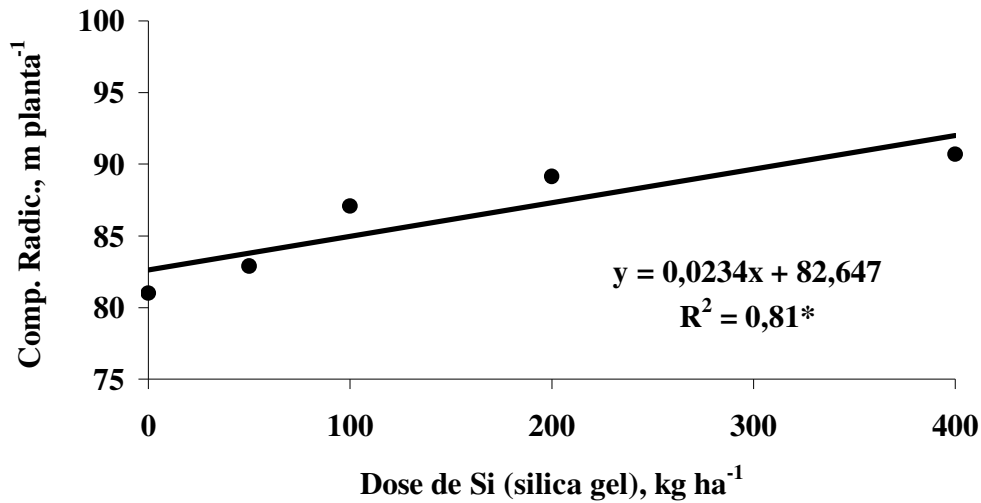
| Tratamentos   | Matéria Seca         |
|---|----------------------|
| Doses de Si – 150 kg ha <sup>-1</sup>                             | g vaso <sup>-1</sup> |
| Controle – 0 kg ha <sup>-1</sup> Si                               | 15,2 a               |
| Sílica Gel  | 15,9 a               |
| Serpentinito Natural  | 21,4 a               |
| Serpentinito Calcinado  | 21,1 a               |
| Mistura física de 85% de serpentinito calcinado + 15% de KCl      | 19,5 a               |
| 85% de serpentinito natural + 15% de KCl (calcinado após mistura) | 24,3 a               |

DMS (5%) = 9,26  
CV (%) = 20,76

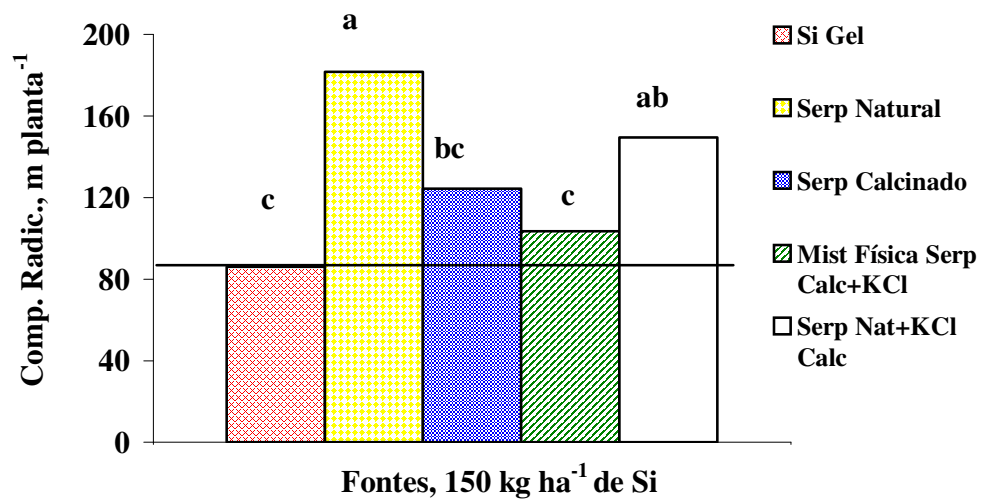
Com relação ao sistema radicular do sorgo, observou-se a aplicação de doses crescentes de sílica gel proporcionou um aumento no comprimento radicular (Figura 7). Com relação à comparação das fontes, percebe-se que o tratamento serpentinito natural foi superior ao tratamento padrão (sílica gel), porém, não diferiu estatisticamente do tratamento 85% de serpentinito natural + 15% de KCl calcinado após mistura. Os tratamentos que apresentaram o menor comprimento do sistema radicular foram a sílica gel e mistura física



de 85% de serpentinito calcinado + 15% de KCl que não diferiram entre si (Figura 8).



**FIGURA 7.** Relação entre doses de Si (Sílica Gel) no comprimento do sistema radicular do sorgo.

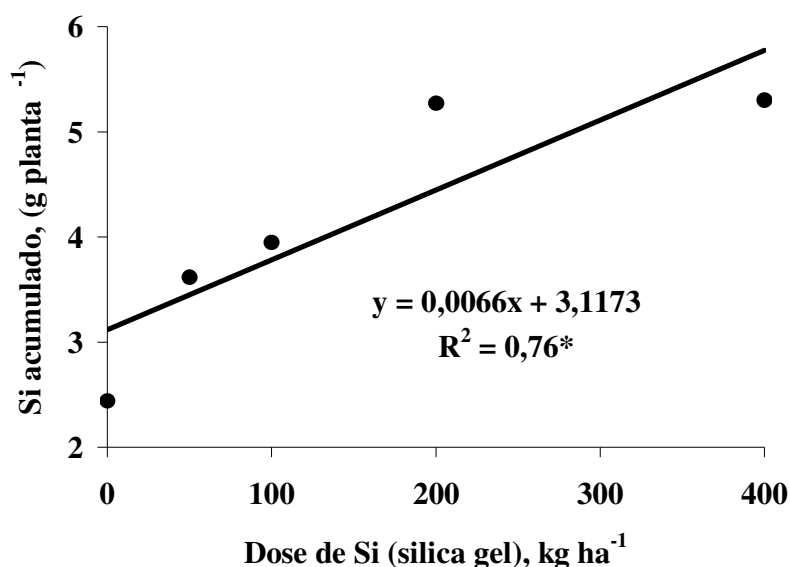


**FIGURA 8.** Comprimento do sistema radicular do sorgo em função da aplicação de fontes silicatadas.

D.M.S. (Diferença Mínima Significativa pelo teste de Tukey 5%) = 39,54

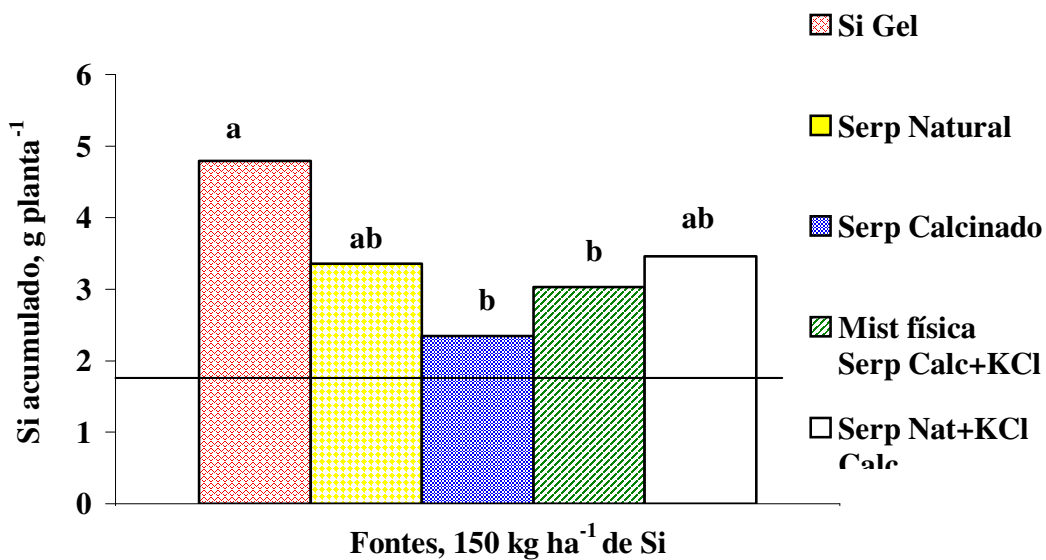
Isso não era esperado, uma vez que a calcinação e o KCl são efetivos em aumentar a reatividade do serpentinito, de modo a aumentar o comprimento radicular. Segundo (Taylor e Arkin, 1981; Nolla & Anghinoni, 2003), o padrão de enraizamento é genético, porém, o crescimento das raízes pode ser modificado por fatores químicos e por condições de estresse biótico e abiótico. Assim sendo, para cada situação, o ambiente pode ser determinante para o crescimento das raízes.

Da mesma forma como para o sistema radicular, a aplicação de doses crescentes de sílica gel aumentou o acúmulo de silício na parte aérea (caule + folhas), (Figura 9). Para cana-de-açúcar, Korndörfer et al. (1998) observaram que a aplicação de silício aumentou o acúmulo de silício foliar da cultura. Em tomateiro, entretanto, Myake e Takahashi (1983), observaram que com o aumento de doses de silício na cultura do tomateiro, não houve translocação do silício em grandes quantidades para a parte aérea da planta.



**FIGURA 9.** Relação entre doses de Si sobre a quantidade de Si acumulado na parte aérea.

A fonte sílica gel foi superior aos demais tratamentos, quando avaliado acumulação de Si nas plantas, mas não diferiu do tratamento 85% de serpentinito natural + 15% KCl (calcinado após mistura) e do serpentinito natural (Figura 10).



**FIGURA 10.** Efeito de fontes de Si na quantidade acumulada de Si na parte aérea. D.M.S. (Diferença Mínima Significativa pelo teste de Tukey 5%) = 1,47.

## **5. CONCLUSÕES**

- A aplicação de diferentes fontes utilizadas de silício não proporcionou efeito significativo no acúmulo de matéria seca de sorgo.
- A sílica gel foi a fonte que apresentou a maior acumulação de Si na parte aérea e também a fonte que proporcionou um aumento no teor de Si disponível no solo.
- Quanto ao teor foliar e o Si acumulado, o tratamento serpentinito calcinado foi o tratamento que mais disponibilizou silício na folha.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKE, F.; PANAS, I. **Activation energy for calcination of lime stone by means of a temperature programmed reaction technique.** *Thermochimica Acta*, v. 303, p. 151-154, 1997.

AGARIE, S.; AGATA, W.; UCHIDA, H.; KUBOTA, F.; KAUFMAN, P. B. Function of silica bodies in the epidermal system of rice (*Oryza sativa* L.): testing the window hypothesis. **Journal of Experimental Botany**, v. 47, n. 298, p. 655-660, 1996.

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas.** São Paulo: ANDA. 1992. 414 p. (Boletim Técnico, 6).

AMARAL SOBRINHO, N.M.B.; COSTA, L.M.; DIAS, L. E.; BARROS, N. F. Aplicação de resíduo siderúrgico em um latossolo: Efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, p. 299-304, 1993.

BALASTRA, M. L. F.; PEREZ, C. M.; JULIANO, B.O.; VILLREAL, P. Effects of silica level on some properties of *Oriza sativa* straw and hult. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 67, p.2356-2363, 1989.

BARBER, D. A. & SHONE M. G. T. The absorption of silica from aqueous solutions by plants. **J. exp. Bot.**, Dordrecht, v.17, p. 569-578, 1966.

BARONNET, A.; DEVOUARD, B. Topology and crystal growth of natural chrysotile and polygonal serpentine. **Journal of Crystal Growth**, v. 166, p. 952-960, 1996.

BRADY, N. C. **The nature and properties of soil**. 10. ed., New York, Macmillan Publishing Co, 1992. 450p.

BRASIL **DECRETO N<sup>o</sup> 2954**. Aprova o regulamento da lei n<sup>o</sup> 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências. Normas jurídicas (Texto Integral) – DEC 004954, 14 jan., 2004, 27 p.

CARNIGLIA, S.C., 1992. **Handbook of Industrial Refractories Technology**. Noyes Publications, New Jersey.

CHENG, T. W.; DING, Y. C.; CHIU, J. P. A study of synthetic forsterite refractory materials using waste serpentine cutting. **Minerals Engineering**, v. 15, p. 271-275, 2002.

COELHO, P. E. Da escória ao vidro. **Revista Limpeza Pública**, n. 49, p. 36-45. 1998.

DANA, J. D. **Manual de mineralogia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., v. 1, 1974, p. 508-510.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de Métodos de Análise de Solo**, 2<sup>a</sup> ed., Rio de Janeiro. 1997. p. 27-32.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: embrapa, 1999. 412 p

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 91, n. 1, p. 11-17, 1994.

FREIRE, F. M., NOVAIS, R. F., SOARES, P. C., COSTA, L. M., FARIA, E. A. Calagem, adubação orgânica e manejo da água no controle da toxicidade de ferro em arroz irrigado. **Revista Ceres**, Viçosa, v.32, n.170, p.162-169. 1985.

GALVEZ, L.; CLARK, R. B.; GOURLEY, L. M.; MARANVILLE, J. W. Effects of silicon on mineral composition of sorghum grown with excess manganese. **Journal of Plant Nutrition**, v. 12, n. 5, p. 547-561, 1989.

IMAZUMI, K. & YOSHIDA, S. Edaphology studies on silicon supplying power of paddy soils. **Bull Nat. Inst. Agric. Sci.**, Japão v.8, p.261-304. 1958.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, n. 19, p. 107-149, 1967.

JUO, A. S. R.; SANCHEZ, P. A. **Soil nutritional aspects with a view to characterize upland rice environment**. International Rice Research Institute, Laguna, Philippines. 1986. 396 p.

KANARI, N., MENAD, N., GABALLAH, I., 1998. **Some aspects of the reactivity of olivine and serpentine towards different chlorinating gas mixtures**. *Termochimica Acta* 319. 97-104.

KHINAST, J.; KRAMMER, G.F.; BRUNNER, Ch.; STAUDINGER, G. **Chemical Engineering Science**. 51 (1996) 623.

KIM, D. J.; CHUNG, H. S. Synthesis and characterization of ZSM-5 zeolite from serpentine. **Appl Clay Science**, v. 24, p. 69-77, 2003.



KLUGER, P Von. **Utilização de escória de aciaria LD para agricultura – uma visão geral.** I Seminário Nacional de Aproveitamento de Descartes de Resíduos da Indústria. Salvador, 1989. 230 p.

KORNDÖRFER G. H.; ARANTES, V. A.; CORRÊA, G. F.; SNYDER, G. H. Efeitos 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**, n. 23, p. 635-641, 1999a.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L.; CORRÊA, G. F. Influence of Silicon on Grain Discoloration and Upland Rice Growth in Four Savanna Soils of Brazil. **J. Plant Nutri.** New York. v.22, n.1, p.93. 1999b.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura.** Uberlândia: GPSi-ICIAG-UFU, 2002. 8p.

KORNDÖRFER, G.H.; COLOMBO, C.A.; RODRIGUES, L.L. 1998. **Effect of thermo-phosphate as silicon source for sugarcane.** Inter-American Sugar Cane Seminar. 9-11 Sept., Miami, FL.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizante.** 1.ed. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 34 p. (Boletim Técnico, 2) - (no prelo).

LEE, K. S., AHN, S. B., RHEE, G. S., YEON, B. Y., PARK, J. K. Studies of Silica application to nursery beds on rice seedling growth. Res. Rep. Rural Dev. Admin., Plant Environ., Mycol., **Farm Product Utilization**, Korea Republic, v.27, n.1, p.23-27, 1985.

LEVIN, E.M.; ROBBINS, C.R.; McMURDIE, H.F., 1994. **In: Phase Diagrams for Ceramists, vol 1**. American Ceramic Society.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 89p.

Ministério de Negócios Econômicos, 1996. **The Application of Limestone and Serpentine Wastes**. ROC. Taipei.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI; E. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. **Soil Science Plant Nutrition**, Baltimore, v. 29, p. 71-83, 1983.

MIZUNO, N. Effects of silica on hull weight and ripening of rice plants. **Journal of Plant Nutrition**, v 10, n.9-16, p.2159, 1987.

NOLLA, A. Correção da acidez do solo com silicatos. In: III Simpósio sobre silício na agricultura. **Resumos expandidos**. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, (Cd Rom).

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Length of the soybean root system determined by SIARCS and TENNANT methods in different conditions of acidity and phosphorus levels on no tillage system. In: VII World Soybean Research Conference. Foz do Iguaçu, **Abstracts...** PR, 17, 2004. p. 116-117.

NOVAIS, R. F., BARROS, N. F.; LEITE, F. P., TEIXEIRA, J. L.; LEAL, P. G. L. **Eficiência agrônômica de escórias da Siderúrgica Pains.** UFV, Viçosa. 1993. 120 p.

OKUDA, A; E. TAKAHASHI, 1964. **The role of silicon: in The mineral nutrition of the rice plant, Proc., Symp. Intren. Rice Res. Inst.,** Feb., 1964., John Hopkins Press, Baltimore, MD, pp.123-146.

OLIVEIRA. A. C.; HAUNE, H.; BARROS, N. F.; MORAIS, E. J. **Uso de escória de alto forno como fonte de nutrientes na adubação florestal.** Seminário sobre uso de resíduos florestais e urbanos em florestas. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1994. 180p.

PIAU, W.C. 1991. **Viabilidade do uso de escórias como corretivo e fertilizantes.** Piracicaba: USP, 1991. 99 p. Dissertação (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

PRADO, R. de M., FERNANDES, F.M., NATALE, W. **Uso agrícola da escória de**

**siderurgia no Brasil:** estudos na cultura da cana-de-açúcar. Jaboticabal: Funep, 2001.  
67p.

RAIJ, B. Van & CAMARGO, O. A. Sílica solúvel em solos. *Bragantia*. v. 32, p. 223-236,  
1973.

RAIJ, B. Van. Fertilidade do solo e adubação. **Ed. Ceres**, POTAFOS, Piracicaba, 1991.  
343p.

RESENDE, H. **Cultura do milho e do sorgo para produção de silagem**. Coronel Pacheco:  
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1991. 107p. (EMBRAPA\_CNPGL,  
Documentos, 51).

ROSENQUIST, T. **Principles of extractive metallurgy**. New York: McGraw Hill, 1974.  
p.237-243.

SILVA, J. A. **Plant mineral nutrition**. Yearbook of Science and technology. McGraw -  
Hill Book Co. Inc. 1973. 239 p.

SNYDER, G H.; JONES, D. B.; GASCHO, G. J. **Silicon fertilization of rice on  
Everglades Histosols**. Soil Sci. Soc. Am. J., v. 50, p. 1259-1263, 1986.

SONG, K.L., 1978. **In: Refractory Materials.** Taiwan Refractory Materials Industry Union, Ceramic Magazine, Taipei, pp. 158 – 164.

SOUZA, E.C.A.; YASUDA, M. **Uso agronômico do termofosfato no Brasil.** São Paulo: Fertilizantes Mitsui, 1995.

TAKAHASHI, E. An introduction to the silicon research in Japan. In: SECOND SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE. 2002, Tsuruoka: **Annals...** Tsuruoka: Silicon in Agriculture Organizing Committee and Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 2002. p. 6-14.

TAKAHASHI, E., MA, J.F., MIYAKE, Y. The possibility of silicon as an essential element for higher plants. **Comments of Agriculture Food Chemical.** v.2, p.99-122, 1990.

TAKAHASHI, J.; KANAREUGSA, C.; SOMBOONDUMRONGKUL, J.; PRASITTIKI-IET, J. **The effect of silicon, magnesium and zinc on the yield of rice.** In: Proceedings of the symposium on paddy soils, october 19-24, Nanjing, China, p.82-83, 1980. (Abstract).

TAYLOR, D.; ARKIN, G. F. Root zone modification fundamentals and alternatives. In: TAYLOR, D.; ARKIN, G. F. (Ed.). **Modifying the enviroment to reduce crop trees.** St Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1981. p. 3-16

TENNANT, D. A test of a modified line intersect method of estimating root length. **Journal of Applied Ecology**, v. 63, p. 995-1001, 1975.

THIAGALINGAM, K.; BENOIT, A. Interaction of blast furnace slag, phosphorus forms and calcium on the growth of sorghum and resistance to a fungus disease caused by *Monochaeta* sp. **Malaysian Agricultural Journal**, v.50, n. 2, p. 248-253, 1975.

TSAI, M.S.; YEN, F.S.; LEE, C.C., 1988. **Study for recovery of MgO from serpentine.** *Mining and Metallurgy* 32 (3), 138 – 147.

WHITE, J. S.; BOLSEN, K. K.; POSLER, G. Forage sorghum dry matter disappearance as influenced by plant part proportion. **Animal Feed Science Technical**, v. 33, p. 313-322, 1991.

ZAGO, C. P. Silagem de sorgo. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS: ALIMENTAÇÃO SUPLEMENTAR, 1999, Piracicaba: **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 1999. p. 47-68.



