

BÁRBARA CAMPOS FERREIRA

REATIVIDADE DE FONTES DE SILÍCIO NO SOLO E SUA ACUMULAÇÃO NAS  
PLANTAS DE ARROZ E DE SORGO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de  
Uberlândia, como parte das exigências do Programa de  
Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, na área de  
concentração em Solos, para obtenção do título de  
“Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer

Co-orientador

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

---

F383r  
2017      Ferreira, Bárbara Campos, 1989  
Reatividade de fontes de silício no solo e sua acumulação nas plantas  
de arroz e de sorgo / Bárbara Campos Ferreira. - 2017.  
53 p. : il.

Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer.  
Coorientador: Hamilton Seron Pereira.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia.  
Inclui bibliografia.

1. Agronomia - Teses. 2. Gramíneas - Teses. 3. Latossolos - Teses.  
4. Silício na agricultura - Teses. I. Korndörfer, Gaspar Henrique, 1953.  
II. Pereira, Hamilton Seron. III. Universidade Federal de Uberlândia.  
Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

---

CDU: 631

BÁRBARA CAMPOS FERREIRA

REATIVIDADE DE FONTES DE SILÍCIO NO SOLO E SUA ACUMULAÇÃO NAS  
PLANTAS DE ARROZ E DE SORGO

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia – Mestrado, na área de concentração em Solos, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 15 de fevereiro de 2017.

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira  
(Co-orientador)

UFU

Profa. Dra. Lucélia Alves Ramos

UFU

Dra. Anelisa de Aquino Vidal Lacerda Soares

APTA

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer  
ICIAG – UFU  
(Orientador)

UBERLÂNDIA  
MINAS GERAIS-BRASIL  
2017

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me dar saúde e força para completar mais essa etapa da minha vida. Aos meus pais, Izaias e Renata, pelo amor incondicional e por me apoiarem sempre.

A toda minha família e amigos, que sempre estiveram ao meu lado durante essa caminhada, em especial às minhas irmãs, Manuela e Isadora.

Ao meu namorado Araí, por acreditar em mim, apoiar e me incentivar sempre.

A todos do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes (LAFER) e, também, aos membros do Grupo de Pesquisa sobre Silício na Agricultura (GPSi), pela ajuda e companheirismo, em especial à Li e ao Gustavo, que me auxiliaram sempre que necessário.

Aos técnicos do LAFER e do Laboratório de Análises de Solo (LABAS) por toda a ajuda e suporte.

Por fim, aos professores Gaspar e Hamilton, pelos ensinamentos, confiança e orientação.

**MUITO OBRIGADA!**

## SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1. INTRODUÇÃO GERAL.....	1
CAPÍTULO 1.....	4
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	4
2. INTRODUÇÃO.....	5
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	6
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	10
4.1. Silício no solo.....	10
4.1.1. Equivalente em silicato de cálcio - Wollastonita (Eq. SiCa).....	12
4.2. Ca, Mg e pH do solo.....	13
5. CONCLUSÕES.....	19
CAPÍTULO 2.....	20
RESUMO.....	20
ABSTRACT.....	21
6. INTRODUÇÃO.....	21
7. MATERIAL E MÉTODOS.....	23
7.1. Instalação.....	25
7.1.1. 1º Cultivo – Arroz.....	25
7.1.2. 2º Cultivo – Sorgo.....	25
7.2. Análise de silício na parte aérea.....	26
7.3. Análise de silício no solo.....	27
7.4. Silício acumulado.....	27
7.5. Análises Estatísticas.....	27
8. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
8.1. Arroz.....	28
8.1.1. Silício no solo.....	28
8.1.2. Massa Seca.....	31
8.1.3. Silício na planta.....	35
8.1.4. Silício acumulado.....	38
8.2. Sorgo.....	40
8.2.1. Silício no solo.....	40
8.2.2. Massa seca.....	42

8.2.3. Silício na planta .....	44
8.2.4. Silício acumulado .....	45
9. CONCLUSÕES .....	48
10. REFERÊNCIAS.....	49

## RESUMO

FERREIRA, BÁRBARA CAMPOS. **Reatividade de fontes de silício no solo e sua acumulação nas plantas de arroz e de sorgo**. Uberlândia: UFU, 2017. 53p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.<sup>1</sup>

O silício (Si) é um elemento benéfico para as plantas, principalmente para as gramíneas, como o arroz e o sorgo, que conseguem absorvê-lo em maior quantidade. As principais fontes de Si são de origem natural (rochas), ou subprodutos da indústria siderúrgica e da fabricação de fertilizantes fosfatados. Existem no mercado várias fontes de Si, no entanto é necessário identificar aquelas com maior potencial em fornecer o Si para o solo e para as plantas. O objetivo do trabalho foi determinar a reatividade no solo e a capacidade de cinco fontes de Si em disponibilizar o nutriente para o solo e para as plantas de arroz e sorgo. Para isso, foram realizados dois experimentos: um Teste de Incubação e um experimento em casa de vegetação (Teste Biológico). Ambos os experimentos foram conduzidos em dois tipos de solo: Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), com 84% de argila e  $2,2 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si ( $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ), e Latossolo Vermelho distrófico (LVd) com 15% de argila e  $4,8 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si ( $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ). As fontes de Si foram: Dunito, Escória do Níquel (Ni), Termofosfato MA (Morro Azul), TMF II e Agromil nas doses de 200 e  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de Si, e a fonte padrão Wollastonita nas doses equivalentes a 100, 200, 400 e  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de Si para o teste de incubação e doses de 100, 200, 400 e  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de Si no teste biológico para todas as fontes. O teste de incubação foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em esquema fatorial  $6 \times 2 + 1$  (seis fontes de Si, duas doses de Si e a testemunha sem aplicação de Si). 60 dias após a incubação, foram analisadas as variáveis: Si disponível ( $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ), Ca, Mg, pH do solo e o equivalente em silicato de cálcio -Wollastonita (Eq. SiCa). O teste biológico foi realizado em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições e dois cultivos consecutivos (arroz e sorgo) em esquema fatorial  $6 \times 4 + 1$ . Cada parcela experimental foi constituída por um vaso com 5 kg de solo e 10 plantas de arroz da cultivar IRGA 424 e no segundo cultivo 5 plantas de sorgo cultivar IG 100 da Dow Agrosiences. As variáveis analisadas foram: Si no solo, massa seca da parte aérea, Si na planta e Si acumulado na parte aérea. A quantidade de produto aplicada em ambos os testes foi calculada baseada no teor de Si total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de cada fonte: Termofosfato MA: 133, Dunito: 180, Escória de Ni: 298, TMF II: 41, Agromil: 342 e Wollastonita: 244. As fontes TMF II, Wollastonita e Termofosfato MA foram as mais eficientes em fornecer Ca para o solo e aumentar o pH. Dunito e Termofosfato MA foram as mais eficientes para o fornecimento de Mg. As fontes mais eficientes em disponibilizar Si para o solo e para as plantas foram o Termofosfato MA juntamente com o padrão Wollastonita, refletindo positivamente no Si acumulado em ambas as culturas. Quanto maior a dose de Si, aplicado via Wollastonita e Termofosfato MA, maior foi a disponibilização do elemento para ambos os solos e para as plantas de arroz e sorgo. Não houve efeito positivo das fontes de Si na massa seca das culturas, exceto pela Wollastonita.

Palavras-chave: gramíneas; incubação; latossolo vermelho distrófico; acúmulo de silício; disponibilização.

---

<sup>1</sup> Orientador: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU.

## ABSTRACT

FERREIRA, BÁRBARA CAMPOS. **Reactivity of silicon sources in the soil and its accumulation in rice and sorghum.** Uberlândia: UFU, 2017. 53p. Dissertation (Masters in Agronomy / Soil Science) - Federal University of Uberlândia, Uberlândia.<sup>2</sup>

Silicon (Si) is a beneficial element for plants, especially grasses, such as rice and sorghum, which can absorb it in greater amounts. The main Si sources are natural (rocks) or byproducts of steel and phosphate fertilizer industries. There are several Si sources in the market; however, it is important to identify those with greater potential of supplying Si to soil and plants. This study determined the reactivity of five sources in the soil and supplying silicon to the rice and sorghum. Thus, two experiments were done, one incubation test and one experiment in the greenhouse (biological test). Both experiments were done with two soil types: Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), with 15% sand and 2.2 mg dm<sup>-3</sup> Si (CaCl<sub>2</sub> 0.01 mol L<sup>-1</sup>) and Latossolo Vermelho distrófico (LVd) with 84% sand and 4.8 mg dm<sup>-3</sup> Si (CaCl<sub>2</sub> 0.01 mol L<sup>-1</sup>). Silicon sources were: Dunito, Nickel slag (Ni), Thermophosphate MA (Morro Azul), TMF II and Agromil, at 200 and 400 kg ha<sup>-1</sup> Si, and the standard source Wollastonite at equivalent doses of 100, 200, 400 and 600 kg ha<sup>-1</sup> Si for the incubation test, and the doses 100, 200, 400 and 600 kg ha<sup>-1</sup> Si in the biological test for all sources. The experimental design of the incubation test was completely randomized, as a 6x2+1 (six Si sources, two Si doses and control with no Si application) factorial, with four replications. The following variables were analyzed after 60 days of incubation: soil available Si (CaCl<sub>2</sub> 0.01 mol L<sup>-1</sup>), Ca, Mg, pH and the equivalent in calcium silicate - Wollastonite (Eq. SiCa). The biological test was done in randomized blocks, as a 6x4+1 factorial, with four replications and two consecutive crops (rice and sorghum). Each experimental unit consisted of a 5-kg pot containing 10 rice plants of cultivar IRGA 424, and for the second crop, 5 sorghum plants of cultivar 1G 100 from Dow Agrosiences. The variables analyzed were: soil Si, shoot dry matter, plant Si contents and Si accumulated in the shoots. The amount of product applied in both tests was determined based on total Si total contents (g kg<sup>-1</sup>) of each source: Thermophosphate MA: 133, Dunito: 180, Ni slag: 298, TMF II: 41, Agromil: 342 and Wollastonite: 244. The sources TMF II, Wollastonite and Thermophosphate MA were the most effective in supplying Ca to the soil and in increasing pH. Dunito and Thermophosphate MA were the most effective in supplying Mg. The most effective sources for supplying Si to the soil and to plants were Thermophosphate MA and the standard Wollastonite, reflecting positively on Si accumulated by both crops. The greater the Si dose, the greater was the availability of the element for both soil and for both crops, rice and sorghum, when applied via Wollastonite and Thermophosphate. There was no positive effect of silicon sources on crop dry matter, except for Wollastonite.

Keywords: grasses, incubation, oxisol, silicon accumulation, availability.

---

<sup>2</sup> Supervising Commite: Gaspar Henrique Korndörfer – UFU.



## 1. INTRODUÇÃO GERAL

O silício (Si) é o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre, perdendo apenas para o oxigênio. Em virtude dessa abundância na biosfera, a comprovação de sua essencialidade é muito difícil de ser obtida. Segundo Jones e Handreck (1967), o Si não é considerado um elemento essencial para as plantas, pois não atende aos critérios diretos e indiretos de essencialidade. No entanto, Espstein (2001) cita efeitos benéficos relatados em culturas adubadas com Si no que se refere à resistência a doenças e pragas, resistência à toxicidade a metais, menor evapotranspiração, promoção de nodulação em leguminosas, efeitos na atividade de enzimas, efeitos na composição mineral, dentre outros. Por isso, o Si é classificado como elemento benéfico ou útil (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995). A importância da aplicação de Si para as plantas está relacionada principalmente ao aumento do crescimento e produção vegetal por causa de benefícios indiretos, ligados à resistência das plantas aos estresses bióticos e abióticos.

O Si disponível para as plantas é encontrado no solo na forma de ácido monossilísico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ). Uma vez absorvido, ele é acumulado principalmente na parede das células da epiderme das folhas. Considerando a capacidade das plantas em absorver e acumular o nutriente, Ma. et al., em 2011, classificaram as plantas como: acumuladoras de Si, quando possuem mais de 1% do elemento em seus tecidos, como o arroz (*Oryza sativa*); acumuladoras intermediárias, que possuem teores entre 0,5 e 1%, como a soja e cucurbitáceas; e não acumuladoras, que possuem menos de 0,5% de concentração de Si.

O estudo da absorção e acúmulo do Si nas plantas é realizado principalmente com a cultura do arroz, que é considerada uma típica planta acumuladora de Si (MA E TAKAHASHI, 2002) e a adubação com esse elemento para a cultura já é utilizada em larga escala no Japão. Pesquisas realizadas em solos orgânicos no sul da Flórida (EUA) demonstraram que a fertilização com Si, na cultura do arroz, reduziu a incidência de bruzone entre 17 e 31 %. (DATNOFF et al., 1991). Assim, a adubação com Si nessa cultura pode eliminar ou reduzir o número de aplicações com fungicidas durante seu ciclo. E isso porque, no arroz, o Si se deposita em maior proporção abaixo da cutícula, formando uma camada de sílica, contribuindo para fortalecer a planta e dificultar a penetração de hifas de fungos. (MA E TAKAHASHI, 2002, KORNDÖRFER, et al., 2002). Além da barreira mecânica, outro mecanismo proposto é a defesa química induzida pelo Si solúvel,

que age como indutor de resistência aos patógenos na produção de fenóis e fitoalexinas. (FAWE et al., 2001).

Segundo Ma e Takahashi (2002), todas as espécies de gramíneas são acumuladoras de Si, porém o grau de acumulação do nutriente difere dentro das subfamílias. Assim, outras gramíneas, como o sorgo (*Sorghum bicolor*), também já mostraram o efeito benéfico do Si no combate a fungos e insetos. Em estudo realizado por Carvalho (1999), foi observado que o maior teor de Si nas plantas de sorgo afetou a preferência para alimentação e a reprodução do pulgão-verde, induzindo resistência em genótipo suscetível. Além disso, Souza et al. (2013), ao estudarem o efeito do Si nessa espécie, concluíram que o nutriente foi benéfico às plantas de sorgo quando elas foram submetidas a estresse hídrico. Porém, para expressar esse potencial, é necessário que o Si esteja disponível no solo para que possa ser absorvido pelas plantas.

No solo, o Si faz parte da composição de minerais primários, como feldspatos, augita, quartzo e mica; e minerais secundários, como a caulinita, montmorilonita, ilita e clorita (RAIJ, 1991). Em relação à dinâmica do nutriente no solo, os principais drenos de Si incluem a polimerização do ácido silícico, lixiviação, adsorção por óxidos de Fe e Al e, principalmente, absorção pelas plantas. E as principais fontes seriam a água de irrigação com Si, fertilizantes, decomposição sílica biogênica e fitólitos, intemperização de minerais e dissociação de óxidos (KORNDÖRFER, 2006).

A maioria dos solos contém consideráveis quantidades de Si. Apesar disso, os cultivos consecutivos podem reduzir o nível desse elemento até um ponto em que a adubação seja necessária. Segundo Korndörfer et al. (1999), os valores de Si no solo, extraídos com ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$  inferiores a  $20 \text{ mg dm}^{-3}$ , ou ainda de 6 a  $8 \text{ mg dm}^{-3}$  extraídos em  $\text{CaCl}_2$   $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ , indicam geralmente a necessidade de adubação com Si. Nessa condição, espera-se uma boa resposta à adubação silicatada, principalmente em plantas acumuladoras de Si. Para suprir essa demanda, deve-se investigar e identificar possíveis fontes, capazes de fornecer Si para plantas.

Os agregados siderúrgicos apresentam muito potencial comercial em razão da existência do grande parque siderúrgico nacional e da possibilidade em atender o mercado interno, sendo as fontes mais abundantes e baratas de Si. (LIMA FILHO, 2010). Os agregados da siderurgia do ferro e do aço são originários do processamento em altas temperaturas da reação do calcário (calcítico, magnesiano ou dolomítico) com a sílica ( $\text{SiO}_2$ ), a qual está presente nos minérios de ferro. Além das escórias, os subprodutos da

produção do fósforo elementar, silicato de potássio, silicatos de cálcio (Ca) e magnésio (Mg) e sílica gel, são formas bem comuns de Si para o uso na Agricultura.

O uso de fontes alternativas de Si para suprir os solos em sua constituição química e mineralógica para produção vegetal tem se mostrado uma prática promissora, pois proporciona uma destinação adequada a esses rejeitos, causando menor impacto ao ambiente e aos seres vivos. Outras características essenciais para as fontes de Si são: boas propriedades físicas, bons teores de Ca e Mg, serem livres de metais pesados, além de baixo custo. (KORNDÖRFER et al., 2004a).

Apesar de o Si estar presente em diferentes compostos (escórias, rejeitos), muitas vezes ele está fortemente ligado ao mineral e, portanto, é pouco aproveitável pelas plantas. É necessário que as fontes tenham boa solubilidade do Si e consigam de fato aumentar o teor do elemento no solo, disponibilizando-o para as plantas. Assim, o objetivo do trabalho foi determinar a reatividade de cinco fontes de Si no solo e a sua capacidade em fornecer Si para plantas de arroz e sorgo, a fim de obter maiores informações sobre o uso desse elemento na agricultura.

## CAPÍTULO 1

### RESUMO

#### **Reatividade de fontes de silício aplicadas em dois tipos de solo (Neossolo Quartzarênico órtico e Latossolo Vermelho distrófico)**

Poucas são as informações em relação às melhores fontes de silício (Si) para uso na agricultura, sendo que alguns produtos já vêm sendo comercializados como fontes desse elemento, tais como as escórias siderúrgicas, os subprodutos da produção de fósforo elementar, os termofosfatos, a sílica gel e as fontes naturais, como a Wollastonita, que é um silicato de cálcio utilizado como padrão para experimentos com Si. Dentre as fontes de Si disponíveis, é necessário identificar aquelas com maior capacidade em fornecer o nutriente para o solo. Assim, o objetivo do trabalho foi determinar a reatividade e a disponibilidade do Si, Ca e Mg provenientes de cinco fontes de Si quando aplicadas ao solo. Para isso, foi realizado um experimento teste de incubação na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia – MG, com dois diferentes tipos de solo: o Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) (15% de argila, 2,2 mg dm<sup>-3</sup> de Si – CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>) e o Latossolo Vermelho distrófico típico (LVdt) (84% de argila, 4,8 mg dm<sup>-3</sup> de Si - CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>). O teste foi montado em delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições, em 13 tratamentos arranjados em esquema fatorial 6 x 2 + 1, sendo seis fontes de Si (Termofosfato MA, Escória de níquel (Ni), Dunito, TMF II, Agromil e a fonte padrão Wollastonita), duas doses de Si (200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>) e a testemunha sem aplicação de Si. Cada parcela experimental foi constituída por um recipiente de plástico contendo 300 g de solo incubado com os produtos. A quantidade de produto aplicada foi baseada no teor de Si total (g kg<sup>-1</sup>) de cada fonte: Termofosfato MA (Morro Azul): 133, Dunito: 180, Escória de Ni: 298, TMF II: 41, Agromil: 342 e Wollastonita: 244. Após 60 dias de incubação, foram analisadas as variáveis Si no solo (CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>), Ca e Mg no solo, pH do solo e o equivalente em silicato de cálcio – Wollastonita (Eq. SiCa). A fonte Termofosfato MA foi a mais eficiente em fornecer Si para ambos os tipos de solo, seguida do padrão Wollastonita. A melhor fonte para o fornecimento de Ca e elevação do pH do solo foi o produto TMF II, seguido do padrão Wollastonita e Termofosfato MA. Esse último produto também foi o mais eficiente em aumentar o teor de Mg no solo seguido do Dunito. O produto TMF II não aumentou os teores de Si do solo para nenhum dos solos estudados. A dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si foi mais eficiente em elevar os teores de Si, Ca, Mg e pH do solo para as fontes que aumentaram de forma estatisticamente significativa cada uma dessas variáveis.

**Palavras-chave:** incubação, fertilizante, Ca, Mg, pH.

### ABSTRACT

#### **Reactivity of silicon sources applied to two soil types Neossolo Quartzarênico órtico and Latossolo Vermelho distrófico)**

There is little information about the best Silicon (Si) sources for agricultural use, and some products already are being commercialized as sources for this element, especially steel slags, byproducts of element phosphorus production, thermophosphates, silica gel

and natural sources, such as Wollastonite, which is a calcium silicate used as standard for experiments with Si. Among the available Si sources it is important to identify those with greater ability to supply the nutrient to the soil. Thus, this study determined the reactivity and availability of Si, Ca and Mg from five Si sources after incorporation to the soil. An incubation test was done at the Universidade Federal de Uberlândia (UFU), in Uberlândia – MG, with two soil types: Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) (15% clay,  $2.2 \text{ mg dm}^{-3} \text{ Si} - \text{CaCl}_2 0.01 \text{ mol L}^{-1}$ ) and Latossolo Vermelho distrófico (LVd) (84% clay,  $4.8 \text{ mg dm}^{-3} \text{ Si} - \text{CaCl}_2 0.01 \text{ mol L}^{-1}$ ). The experimental design was completely randomized, as a  $6 \times 2 + 1$  factorial, with six Si sources (Thermophosphate MA, nickel slag (Ni), Dunito, TMF II, Agromil and the standard source Wollastonite), two Si doses (200 and  $400 \text{ kg ha}^{-1}$ ) and the control with no Si application, with four replications. Each experimental unit consisted of a plastic pot containing 300 g soil, to be incubated with one of the products. The amount of product applied was based on total Si content ( $\text{g kg}^{-1}$ ) of each source: Thermophosphate MA (Morro Azul): 133, Dunito: 180, Ni slag: 298, TMF II: 41, Agromil: 342, and Wollastonite: 244. The following variables were analyzed after 60 days of incubation: soil available Si ( $\text{CaCl}_2 0.01 \text{ mol L}^{-1}$ ), Ca, Mg, pH and the equivalent in calcium silicate - Wollastonite (Eq. SiCa). The source Thermophosphate MA was the most effective in supplying Si to both soil types, followed by the standard Wollastonite. The best source to supply Ca and raising soil pH was the product TMF II, followed by the standard Wollastonite and Thermophosphate MA, which was the most effective in increasing soil Mg contents, followed by Dunito. The product TMF II did not increase soil Si contents in any of the soils analyzed. The dose  $400 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Si}$  was the most effective in raising soil contents of Si, Ca, Mg and pH, for the sources that significantly increased each one these variables.

Keywords: incubation, fertilizer, Ca, Mg, pH.

## 2. INTRODUÇÃO

O Si é considerado, desde 2004, como um micronutriente pela legislação brasileira de fertilizantes (BRASIL, 2004), sendo um elemento que traz diversos benefícios às plantas, principalmente àquelas que conseguem acumulá-lo em maiores quantidades. Solos sujeitos à intemperização, com cultivos sucessivos, tendem a apresentar baixos níveis de Si (FOY, 1992). Nessas condições, a aplicação de Si em forma de fertilizantes tem mostrado respostas positivas, uma vez que consegue aumentar a sua disponibilidade no solo, além de agir como corretivo de acidez, elevando o pH do solo.

Dentre os produtos que já vêm sendo comercializados como fonte desse elemento, destacam-se: os agregados siderúrgicos, utilizados para o fornecimento de Si e correção do solo, pois possuem em sua composição silicatos de Ca e Mg; os subprodutos da produção de fósforo elementar; silicatos de magnésio; silicatos de potássio; termofosfatos; sílica gel e fontes naturais como a Wollastonita, que é um silicato de cálcio natural com altos teores de  $\text{CaSiO}_3$  e alto grau de pureza, sendo utilizado como padrão

para experimentos com Si (RAMOS, 2005). As escórias siderúrgicas, geradas em grandes quantidades no país, possuem destaque entre essas fontes, já que, por ser um passivo ambiental, sua utilização como fertilizante é de suma importância e traz enormes benefícios ao desenvolvimento das plantas.

Considerando a existência de diferentes fontes de Si para as plantas e que a sua solubilidade é variável, torna-se necessário verificar a sua real capacidade em aumentar os teores de Si e outros elementos no solo, além de possuir as características desejáveis para um fertilizante. Portanto, o objetivo deste trabalho foi determinar a reatividade e a disponibilidade do Si, Ca e Mg provenientes de cinco fontes de Si quando aplicadas ao solo.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A fim de determinar a reatividade e a disponibilização de nutrientes ao solo, provenientes de diferentes produtos silicatados, foi conduzido um teste de incubação na Universidade Federal de Uberlândia, em delineamento inteiramente casualizado com quatro repetições.

Os produtos foram incubados em dois tipos de solo, Latossolo Vermelho Distrófico típico (LVdt) com 23% de argila, coletado no município de Uberlândia - MG e o Neossolo Quartzarênico Órtico típico (RQo) com 11% de argila, coletado no município de Santa Vitória-MG. Os solos foram caracterizados quanto aos seus atributos químicos (TABELA 1) e físicos (TABELA 2).

TABELA 1 - Caracterização química dos solos utilizados no estudo de incubação.

Solos	pH CaCl <sub>2</sub>	P**	Si *	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	t	CTC	V m
		---mg dm <sup>-3</sup> --				cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%
LVdt	4,5	0,3	4,8	0,6	0,05	0,1	0,1	0,25	0,8	3,47	8 69
RQo	4,8	0,5	2,2	0,5	0,03	0,1	0,1	0,23	0,7	2,30	9 68

**Observações:** P, K = (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N); Al, Ca, Mg = (KCl 1 N); EMBRAPA, 1997); SB = Soma de bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. por Bases / m = Sat. por Al. \* Si = CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>.

TABELA 2 - Caracterização física dos solos utilizados no estudo de incubação.

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
LVd - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	90	43	33	834
RQo - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico	626	218	1	155

**Observações:** Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997).

Foram testados os produtos indicados na TABELA 3, os quais foram caracterizados quanto aos teores de Si total e Si solúvel, conforme metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004b), e teores de CaO e MgO, de acordo com a metodologia da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999). As doses das fontes silicatadas foram adicionadas aos solos baseadas em seus teores de Si total (TABELA 3).

TABELA 3 – Teores de Si total, Si solúvel, Ca e Mg dos produtos Escória do Ni, Termofosfato MA, Dunito, TMF II, Agromil e do padrão Wollastonita que foram utilizados no experimento.

FONTES	Si Total	Si Solúvel*	Ca	Mg
	- g kg <sup>-1</sup> -	----- % -----		
Escória do Ni	298	10	0,6	12,5
Termofosfato MA	133	12	15,4	7,5
Dunito	180	7	0,4	19,8
Agromil	342	0,72	4,2	0,6
TMF II	41	0	34,3	0,3
Wollastonita (padrão)	244	12	30,0	1,8

\* Extração com NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Os dois tipos de solo em estudo foram acondicionados em recipientes plásticos com capacidade de 500 ml, nos quais foram incorporadas doses crescentes de Wollastonita (0, 100, 200, 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si), além da aplicação dos produtos Escória de Ni, Termofosfato MA, Dunito, TMF II e Agromil nas doses de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>, conforme a Tabela 4. As doses foram calculadas baseadas no teor de Si total de cada produto. É importante ressaltar que não houve balanceamento de Ca e Mg nos tratamentos. A Wollastonita foi utilizada como fonte padrão de Si, pois é um produto mundialmente empregado nos estudos sobre esse elemento. Ela consiste em um metassilicato de cálcio natural, com altos teores de CaSiO<sub>3</sub>, possui alto grau de pureza e é comercializada com o nome de Vansil – EW 20. De acordo com o fabricante, a Wollastonita apresenta a seguinte composição química: SiO<sub>2</sub> = 51,9%; CaO = 42% ou (30% Ca); MgO = 1,5%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 1,8%; Na<sub>2</sub>O = 0,3%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,3%; pH = 9,8 (sol.

10%); MnO = 0,03%; densidade = 2,9 kg m<sup>-3</sup>; peso molecular = 116; ponto de fusão = 1540°C.

O produto Termofosfato MA é um termofosfato magnesiano obtido pela fusão de rocha fosfática, rocha calcária e silicato de magnésio. Após seu vazamento do forno de fusão, há um choque térmico com água, o que faz o material ficar retido em um tanque de decantação, para, posteriormente, ser secado e moído.

A fonte Escória do Ni, por sua vez, é obtida pelo processo de redução do minério de níquel, rico em Si, o qual é submetido a um choque térmico após o seu vazamento do forno de redução com a água, ficando retido em tanques de decantação para, depois, ser secado, moído e embalado. Já o produto TMF II é um material de origem natural provindo de rocha que contém Si.

O produto Dunito é obtido por meio da mineração a céu aberto do mineral natural dunito, que é uma rocha plutônica ígnea composta predominantemente por minerais ferromagnesianos com mais de 90% de olivina [(Mg,Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>], subsaturada em sílica, seguido da britagem, moagem e ensaque.

Por fim, o produto Agromil trata-se de um silicato de potássio obtido a partir da reação de minerais silicatados com hidróxido de potássio.

TABELA 4 - Doses das diferentes fontes de Si incubadas em 300g de um Neossolo Quartzarênico órtico e um Latossolo Vermelho típico em estudo de incubação.

Fonte/Material (*)	Dose Si kg ha <sup>-1</sup>	Si Total fonte g kg <sup>-1</sup>	Dose Fonte kg ha <sup>-1</sup>	Dose Fonte g/300g solo
Testemunha	0	---	0,0	0,000
Wollastonita (padrão Si)	100	244	416,7	0,060
Wollastonita (padrão Si)	200	244	833,3	0,130
Wollastonita (padrão Si)	400	244	1666,6	0,250
Wollastonita (padrão Si)	600	244	2500,0	0,380
Dunito	200	180	1111,1	0,167
Dunito	400	180	2222,2	0,333
Escória do Ni	200	298	666,7	0,100
Escória do Ni	400	298	1333,3	0,200
Termofosfato MA	200	133	1538,5	0,231
Termofostato MA	400	133	3076,9	0,462
TMF II	200	41	5000,0	0,750
TMF II	400	41	10000,0	1,500
Agromil	200	342	588,2	0,088
Agromil	400	342	1176,47	0,176

(\*) As amostras (Fontes) antes de serem colocadas para ser incubadas foram moídas até passarem 100% em peneira de 50 mesh (malhas/polegadas).



As fontes Escória do Ni, Dunito, Termofosfato MA, TMF II, Agromil e Wollastonita foram misturadas com 300 g de solo seco ao ar e peneirado, dentro de um saco plástico (FIGURA 1). Após a mistura, o solo foi colocado em recipientes plásticos (FIGURA 2). Adicionou-se água destilada em cada recipiente, a fim de manter aproximadamente 80% da capacidade de retenção de água de cada solo, sendo 85 ml para o Latossolo Vermelho e 60 ml para o Neossolo Quartzarênico (FIGURAS 2 e 3).



**FIGURA 1.** Incorporação das fontes ao solo através de saco plástico.

**FIGURA 2.** Água adicionada nos recipientes plásticos com o solo.

**FIGURA 3.** Solo incubado em recipientes plástico tampados com furos na tampa a fim de facilitar as trocas gasosas.

Após 60 dias de reação dos fertilizantes com o solo (período de incubação), as amostras foram identificadas, secas, peneiradas e determinou-se o Si solúvel pelo método de extração em  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$ , conforme metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004b). As análises de pH em  $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$ , Ca e Mg trocáveis (EMBRAPA, 1999) foram realizadas no Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Uberlândia (LABAS).

Depois das análises laboratoriais, foi realizado o cálculo individual do Equivalente em Silicato de Cálcio - Wollastonita (Eq.SiCa) para cada tipo de solo, por meio da seguinte fórmula:

$$\text{Eq.SiCa (\%)} = \frac{\sum [(Xf200 - X_t) + (Xf400 - X_t)]}{\sum [(Xw200 - X_t) + (Xw400 - X_t)]} \times 100$$

**Onde:**

**Xf200** = Teor de Si no solo (fonte Si em teste) – dose de 200 kg  $\text{ha}^{-1}$  de Si

**Xf400** = Teor de Si no solo (fonte Si em teste) – dose de 400 kg  $\text{ha}^{-1}$  de Si

**Xw200** = Teor de Si no solo (wollastonita -  $\text{CaSiO}_3$ ) – dose de 200  $\text{kg ha}^{-1}$  de Si

**Xw400** = Teor de Si no solo (wollastonita -  $\text{CaSiO}_3$ ) – dose de 400  $\text{kg ha}^{-1}$  de Si

**Xt** = Teor de Si no solo (testemunha)

Os resultados dos tratamentos foram submetidos à análise de variância com auxílio do programa ASSISTAT versão 7.6 beta (ASSIS, 2012). Em caso de significância, as médias foram comparadas entre si pelos Testes de Tukey a 0,05 de significância. A testemunha foi comparada com os tratamentos que receberam as fontes de Si pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância. As doses de Wollastonita foram analisadas por meio de ajuste matemático (regressão polinomial) com auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2008).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Silício no solo

Quanto aos teores de Si no solo, extraídos 60 dias após incubação para o solo RQo, observa-se que, das fontes testadas, apenas o Termofosfato MA, a fonte padrão Wollastonita e o produto Agromil proporcionaram acréscimo significativo nos teores de Si em relação à testemunha (TABELA 5). Ademais, somente para o Termofosfato MA e para Wollastonita, a dose de 400  $\text{kg ha}^{-1}$  se mostrou mais eficiente, aumentando os valores do nutriente no solo em 6,1  $\text{mg dm}^{-3}$  e 5,1  $\text{mg dm}^{-3}$  em relação à testemunha, respectivamente.

TABELA 5. Teores de silício extraído com cloreto de cálcio 0,01  $\text{mol L}^{-1}$  nas amostras de um Neossolo Quartzarênico órtico 60 dias após incubação com diferentes fontes de Si.

Dose de Si aplicada ao solo $\text{kg ha}^{-1}$	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
0	$\text{mg dm}^{-3}$						
200	4,8bB*	2,3dA <sup>ns</sup>	2,1dA <sup>ns</sup>	5,9aB*	2,1dA <sup>ns</sup>	3,0cA*	3,4
400	7,2bA*	2,3dA <sup>ns</sup>	2,4dA <sup>ns</sup>	8,2aA*	2,2dA <sup>ns</sup>	2,9cA*	4,2
Média	6,0	2,3	2,3	7,0	2,2	3,0	
CV(%) = 6,2 ; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,5 ; DMS <sub>TUKEY</sub> = 0,3 ; DMS <sub>TUKEYdose</sub> = 0,5							

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey a 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

Para o solo LVd, com exceção do produto TMF II, todas as fontes aumentaram os teores de Si no solo de maneira significativa em relação à testemunha (TABELA 6). A dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si só foi mais eficiente em aumentar o teor do nutriente no solo para as fontes Termofosfato MA e para o padrão Wollastonita, não se diferenciando da dose de 200 kg ha<sup>-1</sup> de Si para os demais produtos.

Novamente o produto Termofosfato MA se destaca, pois aumentou o teor de Si no solo em 6,1 mg dm<sup>-3</sup> em relação à testemunha na maior dose de Si, 1 mg dm<sup>-3</sup> a mais quando comparado a maior dose da fonte padrão Wollastonita. A maior liberação de Si para ambos os solo via Termofosfato MA está relacionada à boa solubilidade do produto, o que possivelmente refletirá na absorção do nutriente pelas plantas.

TABELA 6. Teores de silício extraído com cloreto de cálcio 0,01 mol L<sup>-1</sup> nas amostras de um Latossolo Vermelho distrófico 60 dias após incubação com diferentes fontes de Si.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>						
0	3,5						
200	5,7bB*	4,6cA*	5,0bA*	8,6aB*	3,8dA <sup>ns</sup>	5,6bA*	5,5
400	9,4bA*	4,9dA*	5,1cA*	11,5aA*	3,3eA <sup>ns</sup>	6,0cA*	6,7
Média	7,5	4,7	5,1	10,1	3,4	5,8	

CV(%) = 7,5 ; DMS<sub>Dunnett</sub> = 0,9 ; DMS<sub>TUKEY</sub> = 0,6; DMS<sub>TUKEYdose</sub> = 0,9

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

Os teores de Si disponível, extraídos no Neossolo Quartzarênico, em CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>, após 60 dias de incubação, aumentaram significativamente com as doses de si via Wollastonita (FIGURA 4.A), o que está em consonância com dados obtidos por Vidal et al. (2004), ao estudarem a Wollastonita e outras fontes de Si para a cultura do arroz em um Neossolo Quartzarênico órtico. O mesmo efeito é notado quando observamos os resultados encontrados no Latossolo Vermelho distrófico (FIGURA 4.B). Os valores de Si variaram de 3,6 mg dm<sup>-3</sup> até 9,6 mg dm<sup>-3</sup>, no Neossolo Quartzarênico, e de 4,7 mg dm<sup>-3</sup> até 11,9 mg dm<sup>-3</sup> no Latossolo Vermelho.

Esse comportamento da Wollastonita também foi observado por Ramos (2005), o qual avaliou as fontes de Si em teste de incubação, verificando que os teores de Si disponível no solo aumentaram com as doses aplicadas via padrão Wollastonita.

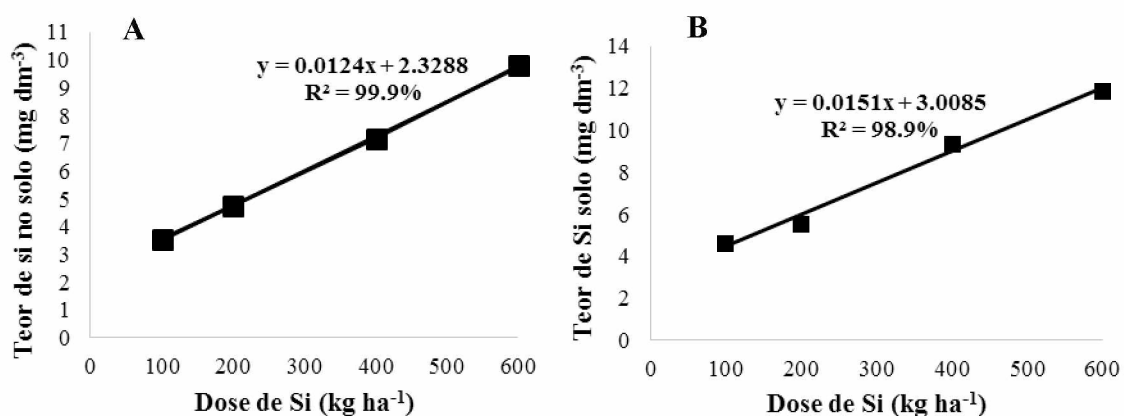


FIGURA 4. Teores de Si no solo, extraídos em cloreto de cálcio, em um Neossolo Quartzarênico órtico (Figura 4.A) e em um Latossolo Vermelho distrófico (Figura 4.B), em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 60 dias de incubação.

Observou-se maior teor de Si solúvel no Latossolo Vermelho e menor no Neossolo Quartzarênico, o que já era esperado em função do teor inicial de Si solúvel ser maior no LVd (TABELA 6). Resultados semelhantes foram encontrados por Korndörfer et al. (1999) e Gomes et al. (2011), os quais observaram maior disponibilidade de Si para as plantas no Latossolo Vermelho distroférico (LVdt), em relação ao Neossolo Quartzarênico (RQo), ao estudarem a disponibilização de Si em diferentes fontes e classes de solo.

Os baixos teores de Si encontrados em ambos os solos estão relacionados aos teores e qualidade dos seus minerais constituintes (Barbosa Filho et al. 2000). Segundo Lima Filho et al. (2005), há uma forte relação entre o teor de Si disponível para as plantas e a fertilidade natural dos solos, sendo que os solos tropicais com alto grau de intemperização, lixiviação e cultivos sucessivos tendem a apresentar baixos níveis de Si disponível. São solos com baixo pH, alto teor de alumínio e baixa saturação por bases, como a maioria encontrada na região do Triângulo Mineiro. Gomes et al. (2011) afirmam que quanto maiores os teores de quartzo no solo arenoso e baixos teores de mineral aluminossilicatado na composição do solo argiloso, menor é a disponibilidade de Si para as plantas quando avaliada por extratores como o CaCl<sub>2</sub>.

#### 4.1.1. Equivalente em silicato de cálcio - Wollastonita (Eq.SiCa)

Calculou-se o Equivalente em Silicato de Cálcio (Eq.SiCa) das fontes testadas Dunito, Escória do Ni, Termofosfato MA, TMF II e Agromil. Foram obtidos valores superiores a 45% para o solo arenoso e para o argiloso somente na fonte Termofosfato MA (TABELA 7). Segundo a metodologia de incubação utilizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) para análise de fertilizantes contendo Si, os fertilizantes que atingirem valor de Eq.SiCa superior a 45% nos dois solos (arenoso e argiloso), calculados com base na fórmula apresentada, estarão habilitados para fazer o Registro junto ao MAPA.

TABELA 7. Equivalente em Silicato de Cálcio (Eq.SiCa) das fontes testadas.

Fonte	Equivalente em Silicato Cálcio (%)	
	Solo Arenoso	Solo Argiloso
Dunito	5,1	30,9
Escória do Ni	3,8	38,3
Termofosfato MA	126,9	158,0
TMF II	1,3	1,2
Agromil	27,2	15,9

#### 4.2. Ca, Mg e pH do solo

No que concerne aos teores de Ca após 60 dias de incubação no Neossolo Quartzarênico, apenas as fontes TMF II, Termofosfato MA na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si e o padrão Wollastonita proporcionaram acréscimo significativo nos teores do nutriente no solo em relação à testemunha (TABELA 8). Isso já era esperado, pois possuem bom teor de Ca em sua composição.

Para os produtos TMF II, Termofosfato MA e o padrão Wollastonita, a dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> se mostrou mais eficiente em aumentar os teores de Ca no solo, proporcionando aumento de 2,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, 0,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 1,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> nos valores de Ca no solo em relação à testemunha, respectivamente.

TABELA 8. Teores de cálcio nas amostras de um Neossolo Quartzarênico órtico 60 dias após incubação com diferentes fontes de Si.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						
0							0,3
200	0,8bB*	0,3cA <sup>ns</sup>	0,3cA <sup>ns</sup>	0,5cB <sup>ns</sup>	2,8aB*	0,5cA <sup>ns</sup>	0,9
400	1,5bA*	0,3dA <sup>ns</sup>	0,3dA <sup>ns</sup>	1,0cA*	3,1aA*	0,5dA <sup>ns</sup>	1,1
Média	1,1	0,3	0,3	0,7	2,9	0,5	
CV(%) = 13,3 ; DMS <sub>Dunnett</sub> =0,3 ; DMS <sub>TUKEYfonte</sub> = 0,2; DMS <sub>TUKEYdose</sub> = 0,3							
Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.							

O mesmo comportamento foi observado no Latossolo Vermelho distrófico em relação aos teores de Ca no solo (TABELA 9). Foi observado incremento de 5,2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>, 0,9 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 0,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> nos teores de Ca no solo quando aplicado 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si via TMF II, Termofosfato MA e padrão Wollastonita, respectivamente. Para ambos os solos, a fonte de Si TMF II se mostrou mais eficiente no fornecimento de Ca para o solo, até mesmo em relação ao padrão Wollastonita. Esse comportamento se deve ao fato de que essa fonte é originada de uma rocha, a qual possui alto teor de Ca em sua composição.

TABELA 9. Teores de cálcio nas amostras de um Latossolo Vermelho distrófico 60 dias após incubação com diferentes fontes de Si.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						
0							0,1
200	0,5bcB*	0,2dA <sup>ns</sup>	0,1dA <sup>ns</sup>	0,7bB*	3,1aB*	0,2cdA <sup>ns</sup>	0,8
400	0,9bA*	0,1cA <sup>ns</sup>	0,1cA <sup>ns</sup>	1,0bA*	5,3aA*	0,2cA <sup>ns</sup>	1,3
Média	0,7	0,1	0,1	0,8	4,2	0,2	
CV(%) = 6,2 ; DMS <sub>Dunnett</sub> =0,3 ; DMS <sub>TUKEYfonte</sub> = 0,3; DMS <sub>TUKEYdose</sub> = 0,3							
Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.							

Os teores de Ca trocável, nos dois solos Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho, aumentaram com as doses de Wollastonita aos 60 dias de incubação (FIGURA 5.A e FIGURA 5.B). Esses resultados corroboram com os que foram encontrados por

Ramos (2005), que observou uma elevação nos teores de Ca trocável com o aumento das doses de Si aplicadas via Wollastonita (0, 50, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si). O aumento nos teores de Ca trocável já era esperado devido à alta pureza e alta reatividade da fonte padrão Wollastonita.

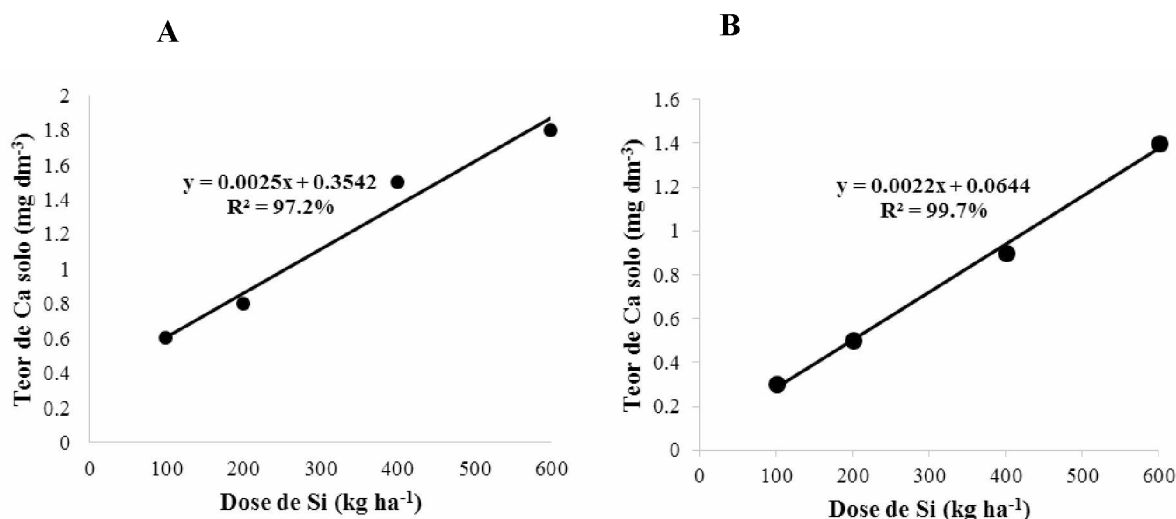


FIGURA 5. Teores de Ca no solo em um Neossolo Quartzarênico (FIGURA 5.A) e em um Latossolo Vermelho distrófico (FIGURA 5.B), em função da aplicação de doses de Wollastonita, após 60 dias de incubação.

Em relação aos teores de Mg no solo, apenas os produtos Termofosfato MA e Dunito aumentaram de forma significativa a quantidade desse nutriente no solo, tanto para o Neossolo Quartzarênico órtico (TABELA 10) quanto para o Latossolo Vermelho distrófico (TABELA 11). Para ambos os produtos, a maior dose de Si proporcionou maiores valores de Mg no solo em relação à dose de 200 kg ha<sup>-1</sup>, com acréscimo de 0,4 cmolc dm<sup>-3</sup> e 0,9 cmolc dm<sup>-3</sup> para o Dunito e Termofosfato MA respectivamente, para o solo RQo (TABELA 10).

TABELA 10. Teores de magnésio nas amostras de um Neossolo Quartzarênico órtico 60 dias após incubação com diferentes fontes de Si.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						
0				0,1			
200	0,1bdA <sup>ns</sup>	0,3bB*	0,2bcA <sup>ns</sup>	0,6aB*	0,1dA <sup>ns</sup>	0,1cdA <sup>ns</sup>	0,2
400	0,1cA <sup>ns</sup>	0,5bA*	0,2cA <sup>ns</sup>	1,0aA*	0,1cA <sup>ns</sup>	0,1cA <sup>ns</sup>	0,3
Média	0,1	0,4	0,2	0,8	0,1	0,1	

CV(%) = 24,0 ; DMS<sub>Dunnett</sub>=0,1 ; DMS<sub>TUKEYfonte</sub> = 0,1; DMS<sub>TUKEYdose</sub> = 0,1

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

Para o Latossolo Vermelho distrófico foi observado o mesmo comportamento dos produtos, sendo que a aplicação de 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si via Dunito e Termofosfato MA proporcionou um aumento significativo de 0,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e 0,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> nos teores de Mg no solo, respectivamente, em relação à testemunha (TABELA 11). Nos dois solos, o produto Termofosfato MA se mostrou o mais eficiente em aumentar os teores de Mg no solo, assim, silicatos com alta concentração de Mg têm ação semelhante ao calcário dolomítico, uma vez que também elevam o pH.

No que diz respeito aos teores de Ca e Mg trocáveis, observou-se que a maior ou menor concentração dos nutrientes na composição dos produtos refletiu na sua liberação para o solo. Além de possuir alta solubilidade, possivelmente em virtude do tratamento térmico utilizado no processo para sua obtenção, o produto Termofosfato MA possui alto teor de Mg, refletindo na quantidade desse nutriente no solo.

TABELA 11. Teores de magnésio nas amostras de um Latossolo Vermelho distrófico 60 dias após incubação com diferentes fontes de Si.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>						
0				0,1			
200	0,1cA <sup>ns</sup>	0,2bB*	0,1cA <sup>ns</sup>	0,4aB*	0,1cA <sup>ns</sup>	0,1cA <sup>ns</sup>	0,2
400	0,1cA <sup>ns</sup>	0,4bA*	0,1cA <sup>ns</sup>	0,8aA*	0,1cA <sup>ns</sup>	0,1cA <sup>ns</sup>	0,2
Média	0,1	0,3	0,1	0,6	0,1	0,1	

CV(%) = 29,6 ; DMS<sub>Dunnett</sub>=0,1 ; DMS<sub>TUKEYfonte</sub> = 0,1; DMS<sub>TUKEYdose</sub> = 0,1

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.



Quanto aos valores de pH no Neossolo Quartzarênico órtico, foi observado que os produtos TMF II e Termofosfato MA foram mais eficientes em elevar o pH do solo em relação à testemunha e ao padrão Wollastonita, aumentando o pH em 2,3 e 1,6 respectivamente, na maior dose de Si.

O produto Dunito também proporcionou acréscimo nos valores de pH apenas na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que a Escória do Ni e o Agromil não aumentaram o pH do solo de maneira significativa. Apenas para as fontes Dunito e Termofosfato MA, a dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> se mostrou mais eficiente na elevação do pH (TABELA 12).

TABELA 12. Valores de pH nas amostras de um Neossolo Quartzarênico órtico 60 dias após incubação com diferentes fontes de Si.

Dose de Si aplicada ao solo kg ha <sup>-1</sup>	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
0	pH do solo (CaCl <sub>2</sub> )						4,1
200	4,8bA*	4,2cB <sup>ns</sup>	4,1cA <sup>ns</sup>	5,2bB*	6,4aA*	4,2cA <sup>ns</sup>	4,8
400	5,0cA*	4,8cA*	4,1dA <sup>ns</sup>	5,7bA*	6,4aA*	4,2dA <sup>ns</sup>	5,0
Média	4,9	4,5	4,1	5,4	6,4	4,2	
CV(%) = 4,7 ; DMS <sub>Dunnett</sub> = 0,5 ; DMS <sub>TUKEYfonte</sub> = 0,3; DMS <sub>TUKEYdose</sub> = 0,5							
Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; * significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.							

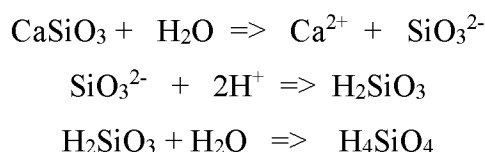
Para o Latossolo Vermelho distrófico, a maioria das fontes de Si aumentaram os valores de pH de maneira significativa, exceto pela menor dose de Si (200 kg ha<sup>-1</sup>) via Escória do Ni e Dunito (TABELA 13). A dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou maior acréscimo nos valores de pH para a maioria das fontes, exceto pelo produto Agromil, o qual se mostrou pouco eficiente em elevar os valores de pH para ambos os solos. Observou-se maior eficiência do produto TMF II em relevar o pH do solo em relação às demais fontes nos solos. Esse resultado era esperado, pois o produto é um calcário ao qual se adicionou um agregado siderúrgico, apresentando, então, uma boa capacidade de correção do solo.

TABELA 13. Valores de pH nas amostras de um Latossolo Vermelho distrófico 60 dias após incubação com diferentes fontes de Si.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	pH do solo (CaCl <sub>2</sub> )						
0	3,7						
200	4,0bB*	3,7cB <sup>ns</sup>	3,6cB <sup>ns</sup>	4,1bB*	4,7aB*	3,9bA*	4,0
400	4,2bA*	4,0cA*	3,9cA*	4,3bA*	5,6aA*	4,0cA*	4,3
Média	4,1	3,8	3,8	4,2	5,1	4,0	
CV(%) = 1,7 ; DMS <sub>Dunnett</sub> =0,1 ; DMS <sub>TUKEY</sub> fonte = 0,1; DMS <sub>TUKEY</sub> dose = 0,1							

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha e maiúsculas na coluna diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

As doses crescentes da fonte padrão Wollastonita aumentaram os valores de pH para os dois tipos de solo (Neossolo Quartzarênico e Latossolo Vermelho) após 60 dias de incubação (FIGURA 6.A e FIGURA 6.B). Segundo Korndörfer et al. (2002) e Cardoso (2003), quanto maior a dose de silicato, maior o pH do solo. O efeito corretivo dos silicatos se deve à presença dos ânions SiO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, que possuem a capacidade de neutralizar os prótons (H<sup>+</sup>), conforme a equação abaixo descrita por Alcarde (1992), comprovando o efeito do silicato de Ca e Mg sobre o pH do solo.



Pela inclinação das retas nas Figuras 6.A e 6.B, observa-se que houve uma maior elevação do pH no Neossolo Quartzarênico em relação ao Latossolo Vermelho. Isso pode ser explicado por causa do menor poder tampão dos solos arenosos quando comparados aos solos argilosos, ou seja, há uma menor resistência dos solos arenosos em elevar o pH em relação aos solos argilosos (RAMOS, 2005).

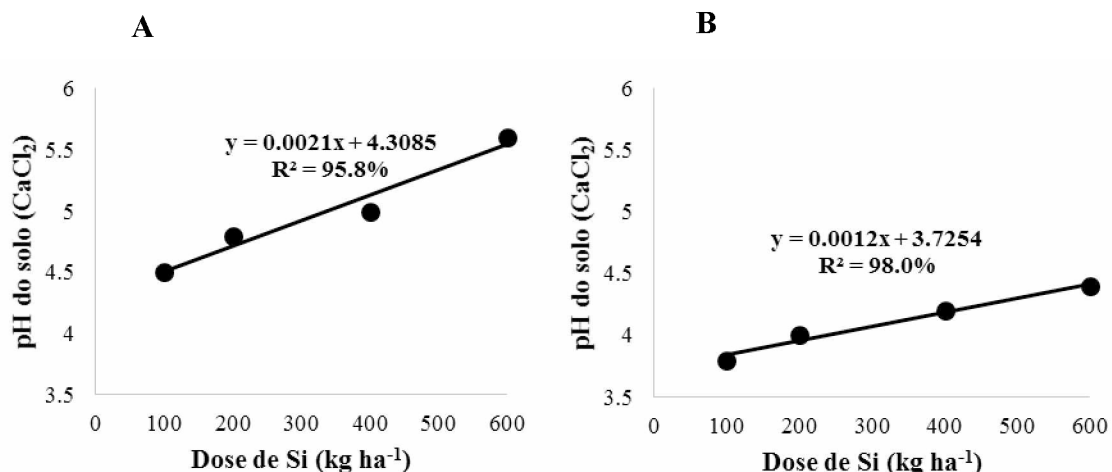


FIGURA 6. Valores de pH em CaCl<sub>2</sub> de um Neossolo Quartzarênico Órtico típico (FIGURA 6.A) e de um Latossolo Vermelho distrófico (FIGURA 6.B), em função da aplicação de doses de Wollastonita aos 60 dias de incubação.

O mesmo comportamento da fonte padrão Wollastonita em ambos os solos foi observado por Ramos (2005) em um estudo sobre a reatividade de fontes de Si. Resultados semelhantes também foram observados por Faria (2000), Cardoso (2003) e Queiroz (2003), os quais concluíram que a aplicação de doses crescentes de silicato de cálcio aumentaram de maneira linear o pH do solo.

## 5. CONCLUSÕES

A fonte Termofosfato MA foi a mais eficiente em fornecer Si para os dois tipos de solo, seguida do padrão Wollastonita, sendo também a única fonte apta a ser registrada junto ao MAPA como fertilizante silicatado (> 45% Eq.Sica -Wollastonita).

A melhor fonte para o fornecimento de Ca e elevação do pH do solo foi o produto TMF II, seguido pelo padrão Wollastonita e Termofosfato MA. Este último também foi o mais eficiente em aumentar o teor de Mg no solo seguido do Dunito.

O produto TMF II não aumentou os teores de Si do solo para nenhum dos solos estudados.

A dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si foi mais eficiente em elevar os teores de Si, Ca, Mg e pH do solo para as fontes que aumentaram de forma significativa cada uma dessas variáveis.

## CAPÍTULO 2

### RESUMO

#### **Disponibilidade de silício proveniente de diferentes fontes para plantas de arroz e sorgo cultivadas em dois tipos de solo.**

O silício (Si) é um elemento benéfico para as plantas, principalmente para as gramíneas, como o arroz (*Oryza sativa*) e o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), mais responsivas à aplicação do nutriente. As principais fontes de Si são de origem natural (rochas) ou subprodutos da indústria siderúrgica e da fabricação de fertilizantes fosfatados. Existem hoje várias fontes de Si, no entanto, é necessário identificar aquelas com maior eficiência agrônômica. Dessa forma, objetivou-se determinar a capacidade de cinco fontes de Si em fornecer o nutriente para o solo e para plantas de arroz e de sorgo. Para isso foi realizado um experimento em casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia (UFU), em Uberlândia – MG, com dois tipos de solo: Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), com 15% de argila e  $2,2 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si ( $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ) e Latossolo Vermelho distrófico (LVd) com 84% de argila e  $4,8 \text{ mg dm}^{-3}$  de Si ( $\text{CaCl}_2$   $0,01 \text{ mol L}^{-1}$ ). O teste foi montado em delineamento de blocos casualizados, com quatro repetições, e 25 tratamentos arranjados em esquema fatorial  $6 \times 4 + 1$  sendo seis fontes de Si (Dunito, Escória do Ni (Níquel), Termofosfato MA, TMF II, Agromil e a fonte padrão Wollastonita), quatro doses de Si (100, 200, 400 e  $600 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e a testemunha sem aplicação de Si. A quantidade de produto aplicada foi calculada baseada no teor de Si total ( $\text{g kg}^{-1}$ ) de cada fonte (Termofosfato MA (Morro Azul): 133, Dunito: 180, Escória de Ni: 298, TMF II: 41, Agromil: 342 e Wollastonita: 244). Foram realizados dois cultivos consecutivos a fim de avaliar o efeito residual das fontes. Primeiramente foi semeado o arroz, colhido após 120 DAS (dias após semeadura), em seguida semeou-se o sorgo, o qual foi colhido aos 43 DAS. Cada parcela experimental foi constituída por um vaso com 5 kg de solo e 10 plantas de arroz da cultivar IRGA 424, e 5 plantas de sorgo da cultivar 1G 100 Dow Agrosiences. As variáveis avaliadas foram Si no solo, Si na planta, Si acumulado e produção de massa seca. O produto Termofosfato MA se mostrou tão eficiente quanto a fonte padrão Wollastonita em fornecer Si para o solo e para as plantas, principalmente nas maiores doses ( $400$  e  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de Si). A aplicação de Si via Dunito não aumentou os teores de Si no solo em nenhum dos solos. O aumento da dose de Si resultou em aumento de Si no solo, de forma linear, para todas as fontes. Quanto aos valores de Si na parte aérea do arroz, apenas as fontes Termofosfato MA e Wollastonita proporcionaram incremento. Para o solo LVdt, houve aumento linear nos teores de Si na parte aérea do arroz à medida que se aumentou a dose para todos os produtos enquanto que para o solo RQo, apenas a fonte Termofosfato MA apresentou esse mesmo comportamento. Somente a fonte padrão Wollastonita aumentou os valores de massa seca do arroz e do sorgo e não houve efeito das doses de Si nos valores de massa seca para nenhuma das culturas.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, *Sorghum bicolor*, neossolo quartzarênico órtico, fertilizante.

## ABSTRACT

### Availability of silicon from different sources to rice and sorghum grown in two soil types

Silicon (Si) is a beneficial element for plants, especially grasses, such as rice (*Oryza sativa*) and sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench), which are more responsive to the application of this nutrient. The main Si sources are natural (rocks) or byproducts of steel and phosphate fertilizer industries. There are several Si sources in the market; however, it is important to identify those with greater agricultural efficacy. Thus, this study determined the ability of five Si sources to supply this nutrient to the soil and to rice and sorghum plants. The experiment was done in a greenhouse at the Universidade Federal de Uberlândia (UFU), in Uberlândia – MG, with two soil types: Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), with 15% clay and 2.2 mg dm<sup>-3</sup> Si (CaCl<sub>2</sub> 0.01 mol L<sup>-1</sup>) and Latossolo Vermelho distrófico (LVd) with 84% clay and 4.8 mg dm<sup>-3</sup> Si (CaCl<sub>2</sub> 0.01 mol L<sup>-1</sup>). The experimental design was randomized blocks, as a 6x4+1 factorial, with six Si sources (Dunito, Ni slags (Nickel), Thermophosphate MA, TMF II, Agromil and the standard source Wollastonite), four Si doses (100, 200, 400 and 600 kg ha<sup>-1</sup>), and the control with no Si application, with four replications. The amount of product applied was determined based on total Si total contents (g kg<sup>-1</sup>) of each source (Thermophosphate MA (Morro Azul): 133, Dunito: 180, Ni slag: 298, TMF II: 41, Agromil: 342 and Wollastonite: 244). Two consecutive crops were grown to evaluate the residual effect of the sources. Rice was sown first, harvested after 120 DAS (days after sowing), followed by sorghum, which was harvested after 43 DAS. Each experimental unit consisted of a 5-kg pot containing 10 rice plants of cultivar IRGA 424, and for the second crop, 5 sorghum plants of cultivar 1G 100 from Dow Agrosiences. The variables analyzed were: soil Si, shoot dry matter, plant Si contents and Si accumulated and dry matter production. The product Thermophosphate MA was as effective as the standard source Wollastonite in supplying Si to the soil and to plants, especially in the greater doses (400 and 600 kg ha<sup>-1</sup> Si). The application of Si via Dunito did not increase Si contents in neither soil. Only the sources Thermophosphate MA and Wollastonite increased Si values in Rice shoots. A linear increase in Si contents in rice shoots was observed in the soil LVdt with increasing doses of the sources Wollastonite and Thermophosphate MA, while in the soil RQo, only the source Thermophosphate MA presented similar behavior. Only the standard source Wollastonite increased Rice and sorghum dry matter, and there was no effect of Si doses in the dry matter values for neither crop.

Keywords: *Oryza sativa*, *Sorghum bicolor*, entisol, fertilizer.

## 6. INTRODUÇÃO

O Si (Si) não é considerado elemento essencial para as plantas, porém, por proporcionar diversos benefícios para mais de 30 espécies vegetais, pode ser considerado um elemento agronomicamente essencial (KORNÖRFER E OLIVEIRA, 2010). O Si é absorvido pelas raízes das plantas na forma de ácido monossilícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>), sendo que

o processo de transporte do ácido através da membrana pode ocorrer por apoplasto ou simplasto.

A absorção do Si pelas plantas ocorre por processo passivo (fluxo de massa ou difusão) e ativo por meio de transportadores de membrana específicos (MA et al., 2006; 2007). Após ser absorvido, o ácido monossilícico é transportado até a parte aérea através do xilema, depositando-se principalmente nas células da epiderme das folhas, na forma de sílica. Este depósito contribui para fortalecer a estrutura da planta, aumentando sua resistência ao acamamento, ataque de fungos e insetos, além de diminuir a transpiração.

As espécies vegetais diferem quanto a capacidade de absorver e acumular Si nos seus tecidos. No geral, as plantas monocotiledôneas são consideradas acumuladoras de Si, em virtude do processo ativo de absorção pelas raízes, possuindo teor foliar acima de 10,0 g kg<sup>-1</sup> de Si (OLIVEIRA, 2009).

As plantas de arroz têm sido usadas como modelo para pesquisas envolvendo a nutrição de Si em plantas. Para essas plantas o suprimento de Si proporciona maior eficiência fotossintética, aumenta a resistência contra o ataque de fungos e insetos e reduz o estresse hídrico, acarretando no aumento da produtividade. (OLIVEIRA, 2009). Os benefícios desse elemento também já foram observados em outras espécies, como o sorgo, e estão relacionados principalmente ao aumento da resistência dessas plantas ao ataque de insetos e fungos.

Tendo em vista as propriedades benéficas do Si, a adubação silicatada é uma prática comercial em várias partes do mundo, principalmente no Japão. O efeito benéfico dos silicatos está normalmente associado ao aumento na disponibilidade do Si solúvel ou “disponível”, ao aumento do pH e também no aumento de outros nutrientes que esses produtos podem conter (RAMOS, 2005).

Os principais produtos utilizados como fonte de Si são aqueles de origem natural (rochas), as escórias oriundas da indústria siderúrgica e resíduos da fabricação de fósforo elementar, os quais contém o Si em sua composição. Porém, é necessário investigar tais fontes, principalmente no que concerne à sua propriedade de aumentar o teor de Si no solo e disponibilizá-lo para as plantas.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a capacidade das fontes Dunito, Escória do Ni, Termofosfato MA, TMF II, Agromil e o padrão Wollastonita em fornecer Si para o solo e para as culturas do arroz e do sorgo.

## 7. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em vasos na casa de vegetação do Instituto de Ciências Agrárias (ICIAG) da Universidade Federal de Uberlândia com dois cultivos consecutivos. Primeiramente, a cultura instalada foi o arroz e, no segundo cultivo, o sorgo. Foram utilizados dois tipos de solos, um Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e um Neossolo Quartzarênico órtico (RQo), os quais são caracterizados nas tabelas abaixo (TABELA 14 e TABELA 15):

TABELA 14 - Caracterização química dos solos utilizados no experimento em casa de vegetação.

Solos	pH CaCl <sub>2</sub>	P**	Si*	Al <sup>3+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	SB	t	CTC	V	m
		----mg dm <sup>-3</sup> --		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----							%	
LVdt	4,5	0,3	4,8	0,6	0,05	0,1	0,1	0,25	0,8	3,47	8	69
RQo	4,8	0,5	2,2	0,5	0,03	0,1	0,1	0,23	0,7	2,30	9	68

**Observações:** P, K = (HCl 0,05 N + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,025 N); Al, Ca, Mg = (KCl 1N); EMBRAPA, 1997); SB = Soma de bases / t = CTC efetiva / T = CTC a pH 7,0 / V = Sat. por Bases / m = Sat. por Al. \* Si: CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>.

TABELA 15 - Caracterização física dos solos utilizados no experimento.

Solo	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila
	----- g kg <sup>-1</sup> -----			
LVd - LATOSSOLO VERMELHO Distrófico	90	43	33	834
RQo - NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico	626	218	1	155

**Observações:** Análise textural pelo Método da Pipeta (EMBRAPA, 1997).

O delineamento utilizado foi o de blocos casualizados (DBC) com quatro repetições. Utilizou-se o esquema fatorial 6x4+1, sendo seis fontes de Si, quatro doses de Si (100, 200, 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si) e a testemunha sem aplicação de Si. Os fertilizantes contendo Si foram caracterizados quanto aos teores de Si total e Si solúvel, conforme a metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004), e teores de CaO e MgO, segundo a metodologia adotada pela EMBRAPA (1999) (TABELA 16).

TABELA 16. Teores de Si total, solúvel, Ca e Mg da fonte padrão Wollastonita e das fontes de Si testadas.

FONTES	Si Total	Si Solúvel*	Ca	Mg
	- g kg <sup>-1</sup> -	----- % -----		
Escória do Ni	298	10	0,6	12,5
Termofosfato MA	133	12	15,4	7,5
Dunito	180	7	0,4	19,8
Agromil	342	0,72	4,2	0,6
TMF II	41	0	34,3	0,3
Wollastonita (padrão)	244	12	39,0	1,8

\* Extração com NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> + Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

Para análise do Si, os fertilizantes foram moídos até passarem 100% em peneira de 50 mesh (malhas/polegada). A dose de cada produto a ser adicionada nos vasos foi calculada com base nos teores de Si total de cada fonte (TABELA 17).

TABELA 17- Tratamentos aplicados nos solos Latossolo Vermelho distrófico (LVd) e Neossolo Quartzarênico órtico (RQo) acondicionados em vasos de 5 kg em experimento em casa de vegetação.

FONTE	Dose de Si	Dose Fonte	Dose Fonte	Dose CaCO <sub>3</sub>	Dose MgCO <sub>3</sub>
	-----	kg ha <sup>-1</sup> -----	-----	g vaso <sup>-1</sup> -----	
Testemunha	0	0	0	4,73	3,02
Wollastonita	100	417	1,04	3,94	2,98
Wollastonita	200	833	2,08	3,15	2,93
Wollastonita	400	1667	4,17	1,58	2,85
Wollastonita	600	2500	6,25	0,00	2,77
Dunito	100	556	1,39	4,72	2,54
Dunito	200	1111	2,78	4,71	2,06
Dunito	400	2222	5,56	4,68	1,10
Dunito	600	3333	8,82	4,65	0,14
Escória do Ni	100	333	0,83	4,72	2,65
Escória do Ni	200	666	1,67	4,71	2,29
Escória do Ni	400	1333	3,33	4,69	1,56
Escória do Ni	600	2000	5,00	4,66	0,84
Termofosfato MA	100	769	1,92	3,99	2,51
Termofosfato MA	200	1538	3,85	3,25	2,01
Termofosfato MA	400	3077	7,69	1,77	1,00
Termofosfato MA	600	4615	11,54	0,29	0,00
TMF II	100	2500	6,25	6,25	2,95
TMF II	200	5000	12,50	0,00	2,89
TMF II	400	10000	25,00	0,00	2,76
TMF II	600	15000	37,50	0,00	2,62
Agromil	100	294	0,74	4,69	3,01
Agromil	200	588	1,47	4,64	3,01
Agromil	400	1176	2,94	4,55	3,01
Agromil	600	1765	4,41	4,46	3,00



## **7.1. Instalação**

### **7.1.1. 1º Cultivo – Arroz**

As unidades experimentais foram constituídas de vasos de polietileno contendo 5 kg de amostra de terra fina seca ao ar (TFSA) de um Latossolo Vermelho distrófico e um Neossolo Quartzarênico órtico. Os vasos foram envolvidos com saco plástico para manutenção da lâmina de água necessária para o cultivo inundado do arroz. Após a colheita, foram retirados os sacos plásticos para o cultivo do sorgo.

Trinta dias antes da semeadura (incubação), os tratamentos (TABELA 17) foram misturados aos solos. Adicionou-se  $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$  na proporção exigida por cada tratamento, de forma que todos recebessem a mesma quantidade de Ca e Mg, isolando, assim, o efeito do Si liberado pelas fontes sobre as plantas, além de corrigir a saturação por bases do solo (V%) para aproximadamente 60%. Antes da semeadura, os solos receberam  $200 \text{ mg kg}^{-1}$  de N,  $400 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $166 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ , provenientes das fontes sulfato de amônio, superfosfato triplo e KCl, respectivamente, e  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  do produto FTE BR-12, contendo 9% Zn; 5,7% S; 2% Mn; 1,8% B; 0,8% Cu; 0,1% Mo. Os nutrientes foram fornecidos em quantidades acima do requerido pela cultura, a fim de não haver deficiência de nenhum deles.

A semeadura do arroz foi realizada na profundidade aproximada de 2 cm, distribuindo-se 20 sementes viáveis por vaso (FIGURA 7) no dia 03/08/2015 com a cultivar IRGA 424. A cultivar é adaptada às condições climáticas do Triângulo Mineiro e possui as seguintes características: ciclo médio, com pleno florescimento aos 96 dias; período de maturação de 132 dias; alto vigor inicial e alta capacidade de perfilhamento; porte baixo; grãos longos e finos; rendimento ao descascamento de 78,1% com 62% de grãos inteiros; resistente à brusone e ao acamamento; tolerante à toxidez por ferro e moderadamente resistente à mancha dos grãos. (REF)

Após a emergência (FIGURA 8), foi efetuado o desbaste, deixando 10 plantas por vaso. Após 15 e 30 dias da semeadura, a adubação de cobertura com  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de nitrogênio foi realizada, utilizando como fonte o sulfato de amônio. Aos 70 dias após a semeadura (DAS), ocorreu a colheita e também foram retiradas as amostras de solo para análise com o auxílio de um minitrado. (FIGURAS 10 E 11).

### **7.1.2. 2º Cultivo – Sorgo**

Após a colheita do arroz, o solo foi retirado dos vasos, peneirado, as raízes do arroz foram retiradas e o solo foi colocado novamente nos vasos sem o saco plástico. Foi realizada a semeadura do sorgo a fim de testar o efeito residual das fontes de Si. Antes da semeadura, os solos receberam 200 mg kg<sup>-1</sup> de N, 400 mg kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 166 mg kg<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, provenientes das fontes sulfato de amônio, superfosfato triplo e KCl, respectivamente, e 50 mg kg<sup>-1</sup> do produto FTE BR-12 contendo 9% Zn; 7,1% S; 2% Mn; 1,8% B; 0,8% Cu; 0,1% Mo.

A semeadura foi realizada no dia 23/10/2015 com a cultivar 1G 100 de sorgo granífero (Dow Agrosiences) na profundidade aproximada de 2 cm, distribuindo-se 10 sementes viáveis por vaso. Trata-se de um híbrido que possui o ciclo superprecoce, florescendo aos 59 DAS aproximadamente, tem o porte baixo, alto potencial produtivo e elevada sanidade foliar. Possui tolerância ao tombamento e quebramento e a doenças como *Helminthosporiose* e *Antracnose*, e é adaptado às condições climáticas do Triângulo Mineiro.

Após a emergência (FIGURA 9), efetuou-se o desbaste, deixando 4 plantas por vaso. Aos 15 e 30 DAS a adubação de cobertura com 100 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio foi realizada, utilizando como fonte o sulfato de amônio. A amostragem de solo foi feita juntamente com a colheita do experimento aos 43 DAS.



**Figura 7** – Semeadura arroz.

**Figura 8** – Emergência plantas de arroz.

**Figura 9** – Emergência plantas de sorgo.

## 7.2. Análise de silício na parte aérea

Para a cultura do arroz, as partes aéreas das plantas foram colhidas 70 DAS (FIGURA 10), com o auxílio de uma tesoura de poda e, posteriormente, foram colocadas em sacos de papel e secas em estufa a 65° C. Em relação à cultura do sorgo, a colheita da parte aérea foi realizada 43 DAS também com o auxílio de uma tesoura de poda. Após serem retiradas da estufa, as plantas foram pesadas para obtenção da massa seca e moídas

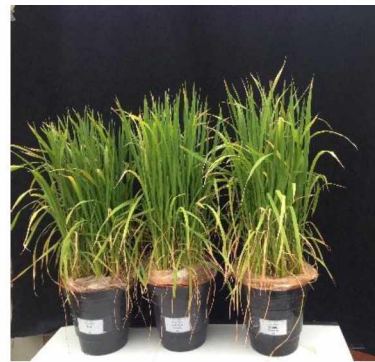
para que fossem submetidas à análise de Si da parte aérea (KORNDÖRFER et al, 2004). A quantidade de Si acumulada pela parte aérea foi obtida por meio dos resultados de produção de massa seca e da concentração do nutriente na parte aérea de ambas as culturas.



**Figura 10.** Colheita arroz.



**Figura 11.** Amostragem de solo - arroz.



**Figura 12.** Plantas de arroz no dia da colheita (70 DAS).

### 7.3. Análise de silício no solo

Após a colheita da parte aérea do arroz e do sorgo, foram retiradas amostras de solo de cada vaso, com auxílio de um "minitrado" para determinar o teor de Si disponível extraído com  $\text{CaCl}_2$  0,01 M (KORNDORFER et al., 2004) (FIGURA 11).

### 7.4. Silício acumulado

Utilizando os valores de teor de Si na parte aérea e a massa seca ( $\text{g vaso}^{-1}$ ) dos dois cultivos (arroz e sorgo), calculou-se o acúmulo de Si pelas plantas por vaso em cada tratamento pela fórmula abaixo:

$$\text{Si acumulado (mg vaso}^{-1}\text{)} = \text{Teor de Si parte aérea (g kg}^{-1}\text{)} \times \text{Massa Seca parte aérea (g vaso}^{-1}\text{)}$$

### 7.5. Análises Estatísticas

Os resultados dos tratamentos foram submetidos à análise de variância com auxílio do programa ASSISTAT versão 7.6 beta (ASSIS, 2012). Em caso de significância, as médias foram comparadas entre si pelo Teste de Tukey a 0,05 e a testemunha comparada aos tratamentos pelo Teste de Dunnet a 0,01 de significância. As doses de Si foram analisadas por meio de ajuste matemático (regressão polinomial) com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2008).

## 8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 8.1. Arroz

#### 8.1.1. Silício no solo

Comparando-se os teores de Si disponível no solo para o RQo, observou-se que apenas as fontes Escória do Ni, Termofosfato MA e o padrão Wollastonita foram eficientes em aumentar o teor do nutriente no solo em relação à testemunha (TABELA 18). O produto Termofosfato MA se destacou nas maiores doses (400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si), proporcionando o maior incremento de Si no solo, sendo 2,9 mg dm<sup>-3</sup> na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si e 6,1 mg dm<sup>-3</sup> na dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si em relação à testemunha.

TABELA 18. Teor de Si disponível (CaCl<sub>2</sub> 0,01 mol L<sup>-1</sup>) extraído de amostras de um Neossolo Quartazarênico órtico após colheita do arroz, 100 dias após aplicação dos produtos.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>				mg dm <sup>-3</sup>			
0				1,4			
100	2,4a*	1,4b <sup>ns</sup>	1,6ab <sup>ns</sup>	1,9a <sup>ns</sup>	0,8c <sup>ns</sup>	1,3bc <sup>ns</sup>	1,6
200	2,9a*	1,6bc <sup>ns</sup>	2,8a*	2,4a <sup>ns</sup>	1,0c <sup>ns</sup>	1,6bc <sup>ns</sup>	2,1
400	3,5a*	1,7bc <sup>ns</sup>	2,3ab <sup>ns</sup>	4,3a*	1,0c <sup>ns</sup>	1,5bc <sup>ns</sup>	2,4
600	4,8b*	2,0cd <sup>ns</sup>	2,8c*	7,5a*	1,0e <sup>ns</sup>	1,5de <sup>ns</sup>	3,3
Média	3,4	1,7	2,4	4,0	1,0	1,4	

CV(%) = 22,0 ; DMS<sub>Dunnett</sub> = 1,0 ; DMS<sub>TUKEY</sub> fonte = 0,9

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

Para o Latossolo Vermelho distrófico, o produto Termofosfato MA se destacou novamente, pois foi o mais eficiente em incrementar os teores de Si no solo nas doses de 400 kg ha<sup>-1</sup> e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si juntamente com o padrão Wollastonita, em relação à testemunha (TABELA 19). Observou-se o incremento de 3,1 mg dm<sup>-3</sup> e 2,5 mg dm<sup>-3</sup> na maior dose de Si aplicado via Termofosfato MA e Wollastonita, respectivamente (TABELA 19). O produto TMF II aumentou os teores do nutriente apenas na maior dose de Si (600 kg ha<sup>-1</sup>) e as demais fontes não proporcionaram aumento nos teores de Si.

Observou-se boa solubilidade do produto Termofosfato MA, o qual aumentou o teor de Si no solo e nas plantas. Resultados semelhantes foram obtidos por Korndörfer et

al. (2000), que observaram um resultado positivo com a aplicação de Si via Termofosfato Yoorin para a cultura da cana-de-açúcar

A maior disponibilização de Si para o solo do Termofosfato MA em comparação com a fonte padrão Wollastonita confirma o resultado de Equivalente em Silicato de cálcio (Eq. SiCa), obtido no teste de incubação (Capítulo 1), no qual o produto obteve valores acima de 100% em relação à Wollastonita. A alta solubilidade da fonte Termofosfato MA pode estar relacionada ao seu modo de obtenção pela fusão de rocha fosfática, rocha calcária e silicato de magnésio. Após seu vazamento do forno de fusão, há um choque térmico com água, ficando o material retido em tanque de decantação.

TABELA 19. Teor de Si disponível ( $\text{CaCl}_2$  0,01 mol  $\text{L}^{-1}$ ) extraído de amostras de um Latossolo Vermelho distrófico após colheita do arroz, 100 dias após aplicação dos produtos.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg $\text{ha}^{-1}$	-----			mg $\text{dm}^{-3}$	-----		
0				2,1			
100	2,5a <sup>ns</sup>	1,7bc <sup>ns</sup>	1,7c <sup>ns</sup>	2,6a <sup>ns</sup>	1,6c <sup>ns</sup>	2,1abc <sup>ns</sup>	2,0
200	3,5a*	2,6b <sup>ns</sup>	1,7c <sup>ns</sup>	2,7b <sup>ns</sup>	1,7c <sup>ns</sup>	2,3bc <sup>ns</sup>	2,4
400	4,5a*	2,8b <sup>ns</sup>	2,1c <sup>ns</sup>	3,9a*	2,3bc <sup>ns</sup>	1,8c <sup>ns</sup>	2,9
600	4,6a*	2,8bc <sup>ns</sup>	2,3bc <sup>ns</sup>	5,2a*	3,0b*	2,2c <sup>ns</sup>	3,4
Média	3,8	2,5	1,9	3,6	2,1	2,1	

CV(%) = 13,5 ;  $\text{DMS}_{\text{Dunnett}} = 0,8$  ;  $\text{DMS}_{\text{TUKEY fonte}} = 0,7$ ;

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância;

\* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância

Em trabalho realizado por Gomes et al. (2011), em que foram estudados um silicato de cálcio e uma escória siderúrgica como fontes de Si, observou-se que esta última proporcionou aumento significativo no teor de Si solúvel no solo em um Neossolo Quartzarênico órtico e em um Latossolo Vermelho distrófico. No presente trabalho, a Escória do Ni aumentou os valores de Si solúvel apenas para o solo RQo. Isso pode ter ocorrido em virtude desse tipo de solo apresentar um menor teor inicial de Si solúvel e ter um menor poder tampão em relação ao solo LVd.

Em relação às doses de Si para o Neossolo Quartzarênico órtico, apenas as fontes Wollastonita e Termofosfato MA apresentaram comportamento linear, ou seja, quanto maior a dose de Si, maior o teor de Si no solo (Figura 13A). Para o Latossolo Vermelho distrófico, as fontes Wollastonita, Termofosfato MA e TMF II apresentaram esse comportamento (Figura 13B).



Ademais, houve maior acréscimo no teor de Si para o Neossolo Quartzarênico em relação ao Latossolo Vermelho (FIGURA 13). Isso porque solos arenosos são, geralmente, pobres em Si disponível para as plantas, uma vez que a forma predominante é o quartzo (LIMA FILHO, 2010), apresentando então maior resposta à adubação silicatada. Segundo Korndörfer et al. (1999), solos com teor de Si inferiores a  $20 \text{ mg dm}^{-3}$  (extraídos com ácido acético  $0,5 \text{ mol L}^{-1}$ ), ou ainda de 6 a  $8 \text{ mg dm}^{-3}$  extraídos em  $\text{CaCl}_2 0,05 \text{ mol L}^{-1}$  em geral indicam a necessidade de adubação com Si e respondem melhor à aplicação do nutriente em comparação aos que tem maior concentração.

O comportamento linear das doses de Si, apresentado na Figura 13, para as fontes de Si citadas anteriormente, vai de acordo com trabalho realizado por Dias et al. (2010), no qual foram avaliadas três fontes de Si (Recmix, Silicato de Sódio e Silicato de Potássio) nas doses crescentes de 0, 100, 200 e  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  de Si, observando-se um aumento nos teores de Si disponível no solo com o aumento da dose.

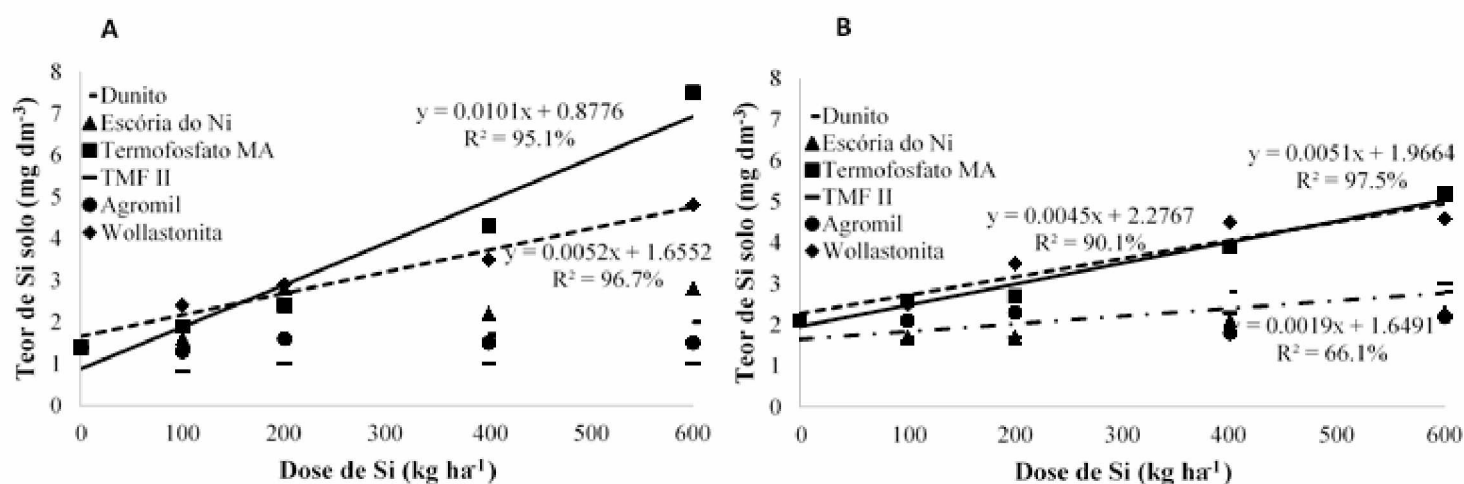


FIGURA 13. Teores de Si no solo, em solos classificados como Neossolo Quartzarênico órtico (Figura 13. A) e Latossolo Vermelho distrófico (Figura 13. B) em função da aplicação de doses crescentes da Si proveniente das fontes Dunito, Escória do Ni, Termofosfato MA, TMF II, Agromil e Wollastonita.

Mesmo com um aumento significativo no teor de Si solúvel no solo pelas fontes citadas anteriormente, os teores de Si no solo continuaram baixos, segundo Korndörfer et al. (2001). Esses autores conduziram experimentos com as culturas do arroz e sorgo durante cinco anos e sugeriram os níveis de Si no solo como baixo, menor que  $6 \text{ mg dm}^{-3}$ , médio entre 6 a  $24 \text{ mg dm}^{-3}$  e alto acima de  $24 \text{ mg dm}^{-3}$ . Apenas o produto Termofosfato MA na dose de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$  de Si aplicado no solo arenoso conseguiu tornar o nível de Si

de baixo para médio. Como foi observado, com o aumento das doses de Si, possivelmente haverá aumento no teor de Si no solo, podendo atingir níveis mais altos do elemento.

### 8.1.2. Massa Seca

No que diz respeito aos valores de massa seca do arroz para o Neossolo Quartzarênico, observa-se que apenas a fonte padrão Wollastonita, nas doses de 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, e a fonte Dunito, nas doses de 200 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, proporcionaram um acréscimo significativo em relação à testemunha (TABELA 20). Resultado semelhante foi observado por Ramos et al. (2008), ao avaliar diferentes fontes de Si e o padrão Wollastonita, pois verificaram que esta última proporcionou aumento na massa seca do arroz cultivado em casa de vegetação.

TABELA 20. Valores de massa seca do arroz colhido aos 70 DAS em um Neossolo Quartzarênico órtico 100 dias após aplicação.

Dose de Si aplicada ao solo kg ha <sup>-1</sup>	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
0	----- g vaso <sup>-1</sup> -----						22,4
100	22,8b <sup>ns</sup>	29,0a <sup>ns</sup>	20,9b <sup>ns</sup>	24,9ab <sup>ns</sup>	25,5ab <sup>ns</sup>	25,3ab <sup>ns</sup>	24,9
200	22,3abc <sup>ns</sup>	30,0a*	27,6ab <sup>ns</sup>	20,3c <sup>ns</sup>	21,4bc <sup>ns</sup>	26,9abc <sup>ns</sup>	24,6
400	30,9a*	31,2a*	27,3ab <sup>ns</sup>	16,3c <sup>ns</sup>	22,9bc <sup>ns</sup>	25,6ab <sup>ns</sup>	25,7
600	30,3a*	28,3a <sup>ns</sup>	28,7a <sup>ns</sup>	15,7b <sup>ns</sup>	23,7a <sup>ns</sup>	27,7a <sup>ns</sup>	25,6
Média	26,6	29,6	26,1	19,2	23,4	26,4	

CV(%) = 13,2 ; DMS<sub>Dunnett</sub> = 7,0 ; DMS<sub>TUKEY</sub> fonte = 6,7

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

No que concerne ao Termofosfato MA, apesar de não se diferenciar de maneira significativa da testemunha, foram observados valores baixos de massa seca, principalmente nas maiores doses de Si. Isso pode ser explicado pelo fato de que o fósforo (P), presente na composição do produto, não foi levado em consideração no momento da adubação de plantio.

O que pode ter ocorrido é um excesso de fósforo nesse tratamento e naqueles que também continham P em sua composição, afetando a disponibilidade e absorção de zinco pelas plantas, nas quais foi observado um sintoma de deficiência do micronutriente no estágio inicial de desenvolvimento, principalmente para o solo arenoso. Segundo Sousa e Lobato (2003), 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. Dessa forma, em solos arenosos com menor teor de argila, há menor fixação do P e, portanto, maior disponibilização do nutriente na solução do solo, com uma chance maior de reação do P com o Zn presente no meio.

Segundo Malavolta et al. (1997), altas concentrações de fósforo no solo ou na solução nutritiva causam a diminuição na disponibilidade de zinco, pois o fósforo insolubiliza o zinco na superfície das raízes, diminuindo sua absorção. Outro mecanismo seria a precipitação do zinco como fosfato de zinco, causada pelo excesso de fósforo, também impedindo a absorção pelas plantas (MARSCHNER, 1995).

O zinco é o micronutriente mais requerido pela cultura do arroz (MALAVOLTA, 1980), pois constitui mais de 80 proteínas e é um grande ativador enzimático. Algumas proteínas são responsáveis pela transcrição do DNA, onde o zinco desempenha o papel de regular a conformação do domínio da proteína (MALAVOLTA et al., 1997) e, dessa forma, a deficiência desse micronutriente provoca inibição severa no crescimento das plantas (EPSTEIN E BLOOM, 2006).

Quanto aos valores de massa seca do arroz para o Latossolo Vermelho, não houve diferença significativa em relação a testemunha entre as fontes de Si (TABELA 21). As fontes de Si não se diferenciaram quanto aos valores de massa seca do arroz, exceto pelas doses de 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si via TMF II, as quais prejudicaram a produção de massa seca do arroz em relação às demais fontes.

TABELA 21. Valores de massa seca do arroz colhido aos 70 DAS em um Latossolo Vermelho distrófico 100 dias após aplicação.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	g vaso <sup>-1</sup>						
0	30,2						
100	30,4 <sup>ns</sup>	30,7 <sup>ns</sup>	30,7 <sup>ns</sup>	30,8 <sup>ns</sup>	30,7 <sup>ns</sup>	32,6 <sup>ns</sup>	31,0
200	33,7 <sup>ns</sup>	29,5 <sup>ns</sup>	31,9 <sup>ns</sup>	34,1 <sup>ns</sup>	30,0 <sup>ns</sup>	30,9 <sup>ns</sup>	31,7
400	34,2 <sup>ns</sup>	32,3 <sup>ns</sup>	30,9 <sup>ns</sup>	30,7 <sup>ns</sup>	23,5 <sup>b</sup>	29,8 <sup>ns</sup>	30,2
600	30,2 <sup>ns</sup>	30,6 <sup>ns</sup>	31,0 <sup>ns</sup>	33,0 <sup>ns</sup>	23,7 <sup>b</sup>	28,9 <sup>ns</sup>	29,6
Média	32,1	30,8	31,3	32,1	27,0	30,1	

CV(%) = 10,1 ; DMS<sub>Dunnett</sub>=6,5 ; DMS<sub>TUKEY</sub>fonte = 6,4

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância;

\* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.



Para ambos os tipos de solo, o aumento da dose de Si não interferiu nos valores da massa seca do arroz de maneira significativa. Esse resultado vai de acordo com o trabalho realizado por Ramos et al. (2008), os quais testaram diferentes fontes de Si e o padrão Wollastonita na cultura do arroz em experimento em casa de vegetação, observando que as doses de Si não interferiram na produção de massa seca do arroz.

Porém, em estudo realizado por Dias et al. (2010), ao avaliarem diferentes fontes e doses de Si (0, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup>), foi observado que doses crescentes proporcionaram aumento nos valores de matéria seca do arroz cultivado em sistema de várzea. Sabe-se que o Si é um elemento benéfico para o crescimento e para a alta produção do arroz, mas os modos de ação dos efeitos benéficos ainda não são totalmente conhecidos (KORNDÖRFER e OLIVEIRA, 2010).

O resultado visual da aplicação de Si pelas fontes em comparação com a testemunha pode ser observado nas Figuras 14, 15 e 16. Mesmo incrementando os teores de Si no solo, a fonte Termofosfato MA não proporcionou acréscimo nos valores de massa seca do arroz. Porém, pode ser observado na Figura 16 um aumento na estatura das plantas e uma melhor arquitetura, com a elevação da dose de Si de 0 para 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si aplicado via Termofosfato MA. Esse mesmo comportamento pode ser observado para as demais fontes de Si. Ou seja, apesar de não haver aumento significativo no volume de massa seca do arroz, observou-se um efeito benéfico do Si na arquitetura das plantas.

O efeito do Si na arquitetura das plantas é relatado por Takahashi (1990) e Epstein (1999), os quais afirmam que esse elemento favorece a penetração da luz no dossel da planta por manter as folhas mais eretas. Ohkawa (1936) observou que plantas de arroz supridas com o Si apresentaram folhas e caules mais eretos e Adatia e Besford (1986), por sua vez, observaram que a adição de Si em meio nutritivo em pepineiros promoveu maior rigidez das folhas, que se mantiveram mais horizontais.



FIGURA 14. Plantas de arroz antes da colheita aos 70 DAS cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico. Foto esquerda: Testemunha – 100 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si via Wollastonita. Foto direita: Testemunha – 100 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si via Dunito.

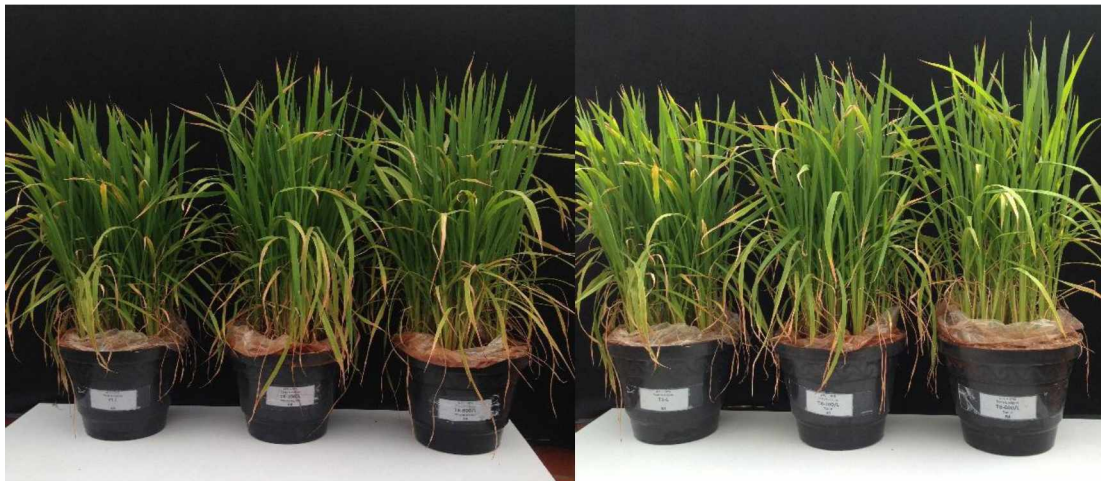


FIGURA 15. Plantas de arroz antes da colheita aos 70 DAS cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico. Foto esquerda: Testemunha – 100 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si via Escória do Ni. Foto direita: Testemunha – 100 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si via TMF II.

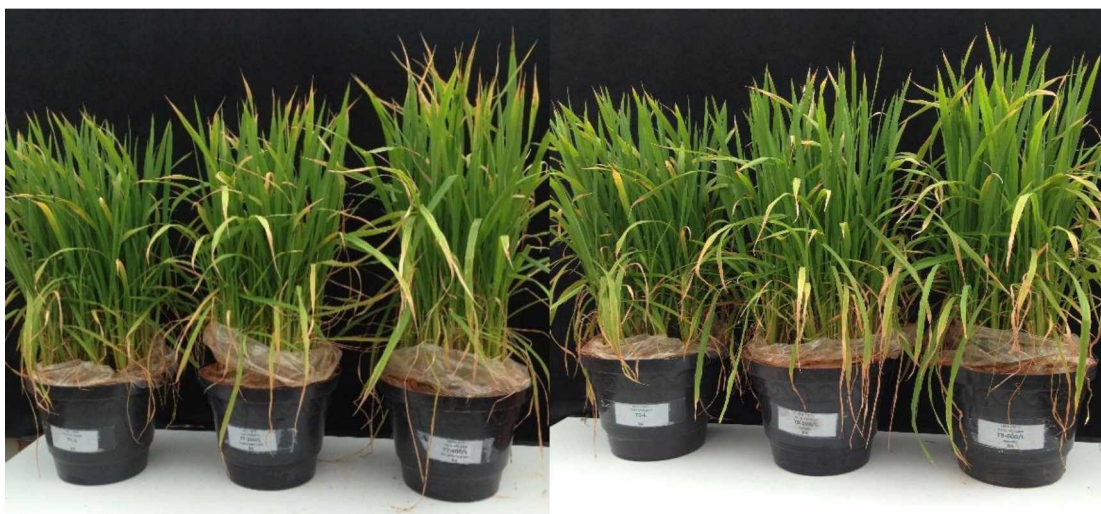


FIGURA 16. Plantas de arroz antes da colheita aos 70 DAS cultivadas em Latossolo Vermelho distrófico. Foto esquerda: Testemunha – 100 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si via Termofosfato MA. Foto direita: Testemunha – 100 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si via Agromil.

Como elemento benéfico, o Si tem sua absorção aumentada em condições de estresse, bióticos ou abióticos. Em tais condições, as plantas requerem mais Si para suportar a condição de estresse fisiológico, aumentando sua absorção (OLIVEIRA, 2009). Motomura et al. (2002) consideram que a relação entre o transporte e o acúmulo de Si e as estações do ano pode estar relacionada à transpiração e ao fato de que, nessas condições, o estresse climático pode estimular o acúmulo do elemento, favorecendo a produção de massa seca (OLIVEIRA, 2009).

Assim, como o experimento foi realizado em casa de vegetação em condições ambientes ideais, o efeito do Si na produção de massa seca não foi observado. Provavelmente, em experimento realizado em campo, seria possível notar os benefícios do Si na produtividade da cultura.

### **8.1.3. Silício na planta**

Quanto aos teores de Si na parte aérea do arroz, observou-se para o RQo que apenas a fonte Termofosfato MA proporcionou acréscimo nos valores de 200 a 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, em relação à testemunha. A fonte padrão Wollastonita incrementou o teor desse elemento nas plantas apenas na dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, enquanto as demais fontes não foram capazes de fornecer o nutriente para as plantas de maneira significativa. (TABELA 22).

Tais resultados refletem a maior solubilidade da fonte Termofosfato MA em relação às demais, a qual foi mais eficiente em fornecer Si para o solo e, consequentemente, proporcionou maior absorção do nutriente pelas plantas de arroz. Além disso, ocorreu acréscimo de 30,3 g kg<sup>-1</sup> de Si na dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si aplicado via Termofosfato MA em relação à testemunha, e 23,4 g kg<sup>-1</sup> de Si a mais do que a aplicação do nutriente via Wollastonita na mesma dose.

Segundo Korndorfer et al. (2001), os teores de Si na planta (arroz) são classificados como baixo quando são menores que 17 g kg<sup>-1</sup>, médio, quando estão entre 17 e 34 g kg<sup>-1</sup>, e alto, se forem acima de 34 g kg<sup>-1</sup>. Assim, apenas as fontes Wollastonita e Termofosfato MA na maior dose de Si conseguiram atingir teores médios de Si na planta. A aplicação de Si via Termofosfato MA atingiu teores médio e alto de Si nas doses de 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, respectivamente, para o Nossolo Quartzarênico (TABELA 22).

TABELA 22. Teores de Si na parte aérea do arroz colhido 70 DAS em um Neossolo Quartzarênico órtico 100 dias após a aplicação.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	-----			g kg <sup>-1</sup>	-----		
0				10,4			
100	10,6a <sup>ns</sup>	7,8a <sup>ns</sup>	10,5a <sup>ns</sup>	11,7a <sup>ns</sup>	8,9a <sup>ns</sup>	9,7a <sup>ns</sup>	9,9
200	12,9b <sup>ns</sup>	7,5bc <sup>ns</sup>	9,5bc <sup>ns</sup>	18,8a*	11,0b <sup>ns</sup>	9,5bc <sup>ns</sup>	11,5
400	13,6b <sup>ns</sup>	7,9bc <sup>ns</sup>	11,7bc <sup>ns</sup>	26,3a*	9,7bc <sup>ns</sup>	10,4bc <sup>ns</sup>	13,3
600	17,3b*	10,1c <sup>ns</sup>	13,0bc <sup>ns</sup>	40,7a*	10,1c <sup>ns</sup>	8,2c <sup>ns</sup>	16,3
Média	13,6	8,4	11,2	24,4	9,9	9,4	

CV(%) = 19,0 ; DMS<sub>Dunnett</sub> = 5,1 ; DMS<sub>TUKEYfonte</sub> = 4,5

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância;

\* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

Para o Latossolo Vermelho, um comportamento semelhante das fontes de Si foi observado, sendo que o produto Termofosfato MA incrementou os teores de Si na planta de arroz nas doses de 200 a 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si em relação à testemunha. A fonte padrão Wollastonita também proporcionou acréscimo significativo nos teores de Si nas mesmas doses. Além dessas duas fontes, os produtos TMF II e Agromil aumentaram os teores do nutriente na parte aérea do arroz nas doses de 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si e de 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, respectivamente (TABELA 23).

Houve um aumento de 12,9 g kg<sup>-1</sup> de Si, 11,2 g kg<sup>-1</sup> de Si nas plantas de arroz com a aplicação de nutriente via Termofosfato MA e Wollastonita na dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, respectivamente, em relação à testemunha (TABELA 23).

TABELA 23. Teores de Si na parte aérea do arroz colhido 70 DAS em um Latossolo Vermelho distrófico 100 dias após a aplicação.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	-----			g kg <sup>-1</sup>	-----		
0				8,1			
100	11,0a <sup>ns</sup>	7,4b <sup>ns</sup>	7,8b <sup>ns</sup>	11,1a <sup>ns</sup>	9,5ab <sup>ns</sup>	10,5ab <sup>ns</sup>	9,6
200	14,5a*	7,8c <sup>ns</sup>	7,9c <sup>ns</sup>	12,1ab*	9,7bc <sup>ns</sup>	11,0b <sup>ns</sup>	10,5
400	13,8b*	7,9c <sup>ns</sup>	8,2c <sup>ns</sup>	17,4a*	10,7bc <sup>ns</sup>	12,2b*	11,7
600	19,3a*	7,3d <sup>ns</sup>	9,0cd <sup>ns</sup>	21,0a*	12,8b*	12,1bc*	13,6
Média	14,7	7,2	8,2	15,4	10,7	10,4	

CV(%) = 13,5 ; DMS<sub>Dunnett</sub> = 3,2 ; DMS<sub>TUKEYfonte</sub> = 2,8

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância;

\* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

Para o Neossolo Quartzarênico órtico, houve uma elevação nos teores do elemento na parte aérea do arroz em função do aumento da dose de Si apenas para o produto Termofosfato MA (FIGURA 17A). Em relação ao Latossolo Vermelho distrófico, observou-se o mesmo comportamento para essa fonte e também para o padrão Wollastonita (FIGURA 17B).

O fato de a fonte padrão Wollastonita não ter demonstrado comportamento linear significativo para o Neossolo Quartzarênico pode ser devido ao fato de a fonte Termofosfato MA ter proporcionado um aumento bem superior ao da Wollastonita e das outras fontes nos valores de Si na parte aérea do arroz. Assim, proporcionalmente, não foi constatado esse aumento de forma significativa para a Wollastonita.

Ramos et al. (2008), ao estudarem diferentes fontes de Si, observaram que o aumento da dose desse nutriente aplicado via Wollastonita elevou os teores de Si na parte aérea do arroz para os mesmos tipos de solo citados neste trabalho. Resultados semelhantes foram obtidos por Pereira et al. (2004), que estudaram diferentes fontes de Si e o padrão Wollastonita para a cultura do arroz em um Neossolo Quartzarênico órtico e um Latossolo Vermelho distrófico.

Em relação ao aumento nos teores de Si na planta com o aumento da dose de Si, Fernandes et al. (2010) avaliaram doses crescentes de silicato de cálcio para a cultura do trigo e também observaram o mesmo comportamento linear. Faria (2000), por sua vez, avaliou a influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico em um Neossolo Quartzarênico, e observou um aumento nos teores de Si na parte aérea do arroz à medida que se aumentou a dose de Si, com valores variando de 9 a 21 g kg<sup>-1</sup> (doses de 0 a 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si respectivamente).

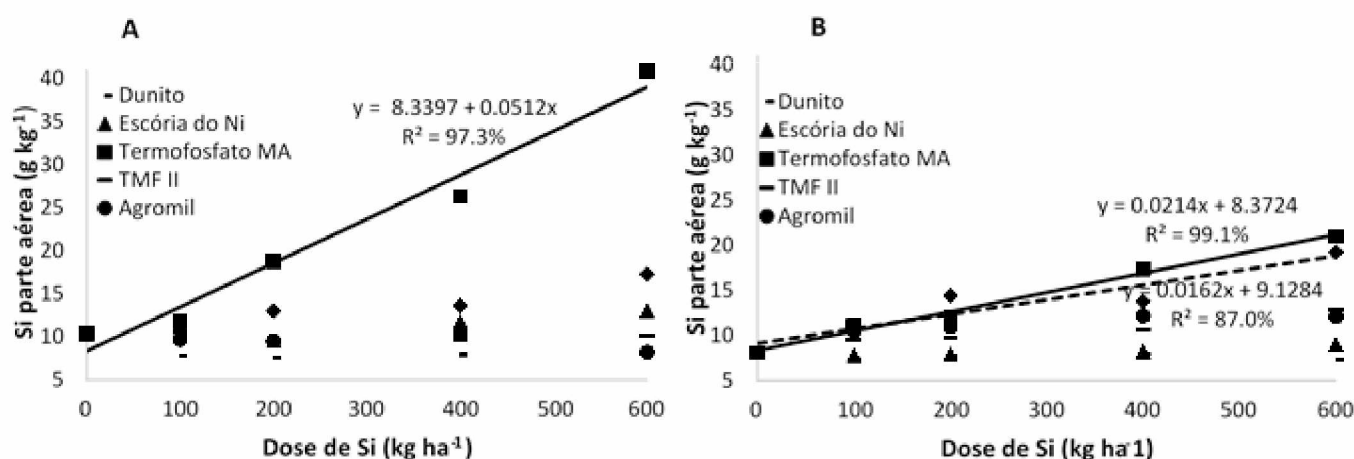


FIGURA 17. Teores de Si na parte aérea do arroz colhido aos 100 DAS, em um Neossolo Quartzarênico órtico (Figura 16. A) e em um Latossolo Vermelho distrófico (Figura 16. B) em função da aplicação de doses crescentes de Si proveniente das fontes Dunito, Escória do Ni, Termofosfato MA, TMF II, Agromil e Wollastonita.

#### 8.1.4. Silício acumulado

Verificou-se em relação aos valores de Si acumulado na planta, para o Neossolo Quartzarênico (TABELA 24), que as fontes Escória de Ni, Termofosfato MA e a fonte padrão Wollastonita proporcionaram um aumento no acúmulo desse elemento nas plantas de arroz nas doses de 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, 200, 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si e 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, respectivamente. Observou-se um maior acúmulo do nutriente na maior dose de Si para o produto Termofosfato MA, o qual incrementou esse valor em 365,2 mg vaso<sup>-1</sup> em relação à testemunha, sendo que o padrão Wollastonita proporcionou acréscimo de 270,8 mg vaso<sup>-1</sup> de Si acumulado no arroz (TABELA 24).

TABELA 24. Valores de Si acumulado na parte aérea do arroz colhido 70 DAS em um Neossolo Quartzarênico órtico 100 dias após a aplicação.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	mg vaso <sup>-1</sup>						
0				245,4			
100	241,6a <sup>ns</sup>	235,8a <sup>ns</sup>	215,8a <sup>ns</sup>	293,3a <sup>ns</sup>	225,7a <sup>ns</sup>	246,4a <sup>ns</sup>	243,1
200	287,6ab <sup>ns</sup>	219,5b <sup>ns</sup>	259,8b <sup>ns</sup>	372,3a*	231,2b <sup>ns</sup>	256,1bb <sup>ns</sup>	271,1
400	420,3a*	248,2b <sup>ns</sup>	310,8b <sup>ns</sup>	430,9a*	222,8b <sup>ns</sup>	266,1b <sup>ns</sup>	316,5
600	516,2b*	261,1d <sup>ns</sup>	370,3c*	610,6a*	240,2d <sup>ns</sup>	248,0d <sup>ns</sup>	391,1
Média	366,4	241,2	289,2	426,8	230,0	254,1	

CV(%) = 15,0 ; DMS<sub>Dunnett</sub> = 93,7 ; DMS<sub>TUKEYfonte</sub> = 46,0

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.



No Latossolo Vermelho distrófico, as fontes Termofosfato MA e Wollastonita foram as mais eficientes em proporcionar acréscimo nos valores de Si acumulado nas doses de 200, 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, aumentando em 448,4 e 364,9 mg vaso<sup>-1</sup> de Si na maior dose, respectivamente (TABELA 25). O produto Agromil aumentou o valor de Si acumulado na dose de 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si em relação à testemunha e as demais fontes não acumularam Si nas plantas de maneira significativa.

TABELA 25. Valores de Si acumulado na parte aérea do arroz colhido 70 DAS em um Latossolo Vermelho distrófico 100 dias após a aplicação.

Dose de Si aplicada ao solo kg ha <sup>-1</sup>	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
0	----- mg vaso <sup>-1</sup> -----						248,1
100	336,5ab <sup>ns</sup>	226,3b <sup>ns</sup>	238,4ab <sup>ns</sup>	340,1a <sup>ns</sup>	292,9ab <sup>ns</sup>	340,9a <sup>ns</sup>	295,9
200	488,7a*	228,8d <sup>ns</sup>	251,5cd <sup>ns</sup>	432,6ab*	289,7cd <sup>ns</sup>	341,4bc <sup>ns</sup>	338,8
400	468,3b*	253,5cd <sup>ns</sup>	254,9cd <sup>ns</sup>	580,9a*	250,4d <sup>ns</sup>	363,1bc*	361,9
600	613,0a*	225,4c <sup>ns</sup>	286,8bc <sup>ns</sup>	696,5a*	245,4bc <sup>ns</sup>	348,4b <sup>ns</sup>	402,6
Média	476,6	233,5	257,9	512,6	269,6	348,5	
CV(%) = 15,5 ; DMS <sub>Dunnett</sub> = 112,8 ; DMS <sub>TUKEY</sub> fonte = 55,3							

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

Para o solo RQo, apenas produtos Wollastonita, Termofosfato Ma e Escória do Ni apresentaram comportamento linear. Conforme a dose de Si foi elevada, houve acréscimo nos valores de Si acumulado no arroz (FIGURA 18A). A mesma resposta linear foi observada por Dias et al. (2010) na avaliação de três fontes e doses crescentes de Si (0, 100, 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si) para a cultura do arroz. O maior acúmulo de Si, com o aumento da dose, confirma o efeito benéfico que o nutriente proporcionou para a cultura do arroz em relação à estatura e arquitetura das plantas observadas anteriormente.

Para o solo LVd, os valores de Si acumulado aumentaram em função da elevação da dose de Si apenas via Termofosfato MA e Wollastonita (FIGURA 18B).

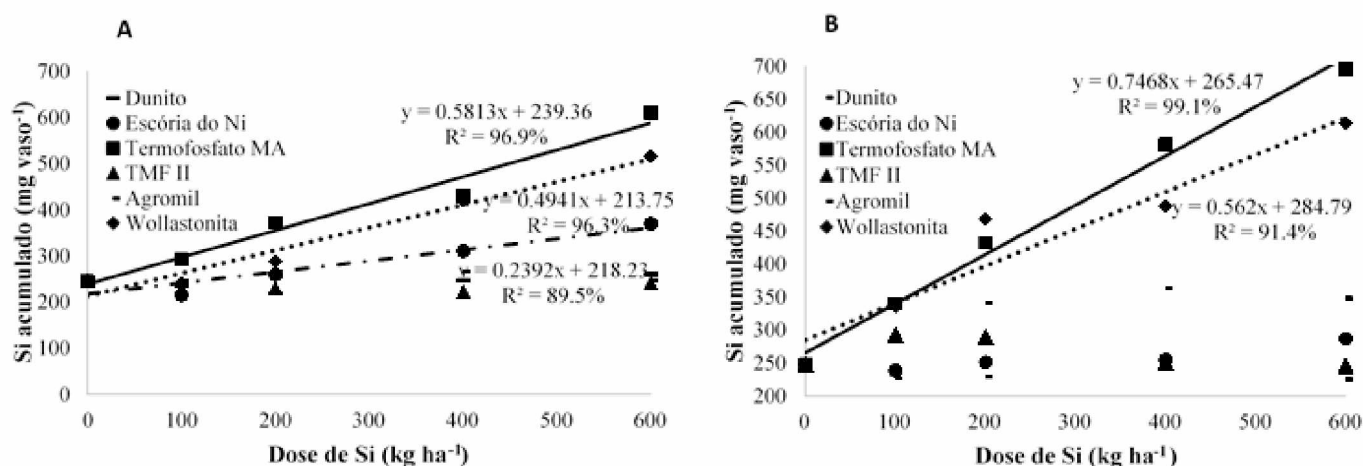


FIGURA 18. Média dos valores de Si acumulado na parte aérea do arroz colhido aos 100 DAS, em um Neossolo Quartzarênico órtico (Figura 18A) e valores de Si acumulado na parte aérea do arroz colhido em um Latossolo Vermelho distrófico (Figura 18B) em função da aplicação de doses crescentes de Si.

## 8.2. Sorgo

### 8.2.1. Silício no solo

Quanto aos teores de Si no Neossolo Quartzarênico órtico amostrado após a colheita do sorgo (2º cultivo), houve acréscimo nos teores do nutriente no solo quando aplicado via Dunito na dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, via Termofosfato MA para todas as doses de Si e via padrão Wollastonita e TMF II para a maioria das doses, exceto a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de Si (TABELA 26). O produto Agromil também aumentou os teores de Si de maneira significativa nas doses de 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si assim como a Escória do Ni. Rocha et al. (2011), quando estudaram o efeito residual de uma escória siderúrgica como fonte de Si para a cultura do sorgo, também observaram incremento nos teores de Si de um Latossolo Vermelho.

O produto Termofosfato MA apresentou um bom poder residual, sendo a fonte mais eficiente em elevar os teores de Si no solo na maioria das doses, exceto na dose de 200 kg ha<sup>-1</sup>, na qual o produto TMF II se mostrou mais eficiente. Verificou-se um aumento de 2,8 mg dm<sup>-3</sup> de Si na maior dose de Si aplicado via Termofosfato MA (TABELA 26).



TABELA 26. Teor de Si disponível extraído de amostras de um Neossolo Quartazarênico órtico após colheita do sorgo, 143 dias depois da aplicação dos produtos.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>						
0	1,7						
100	2,2b <sup>ns</sup>	2,1b <sup>ns</sup>	2,0b <sup>ns</sup>	2,6a*	2,1b <sup>ns</sup>	2,2b <sup>ns</sup>	2,2
200	2,4b*	2,1b <sup>ns</sup>	2,2b <sup>ns</sup>	2,4b*	2,8a*	2,2b <sup>ns</sup>	2,4
400	2,9ab*	2,2c <sup>ns</sup>	2,4bc*	3,3a*	2,9ab*	2,3c*	2,7
600	3,3b*	2,3c*	2,5c*	4,5a*	3,2b*	2,6c*	3,1
Média	2,7	2,2	2,3	3,2	2,7	2,2	
CV(%) = 10,5 ; DMS <sub>Dunnett</sub> =0,6 ; DMS <sub>TUKEYfonte</sub> = 0,5							

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

No Latossolo Vermelho distrófico, houve um comportamento semelhante das fontes avaliadas em relação aos teores de Si no solo, porém o padrão Wollastonita se mostrou a fonte mais eficiente em elevar os teores desse elemento, principalmente nas doses de 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si (TABELA 27). Para essas mesmas doses, as fontes Dunito e Termofosfato MA se mostraram igualmente eficientes em incrementar o teor do elemento no solo.

O produto TMF II também aumentou os teores de Si no solo de maneira significativa em relação à testemunha nas doses de 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si (TABELA 27). Para esse solo, as fontes Escória do Ni e Agromil não foram capazes de incrementar os teores de Si no solo em relação à testemunha.

TABELA 27. Teor de Si disponível extraído de amostras de um Latossolo Vermelho distrófico após colheita do sorgo, 143 dias após aplicação dos produtos.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	mg dm <sup>-3</sup>						
0	2,4						
100	2,9a <sup>ns</sup>	2,4ab <sup>ns</sup>	2,3ab <sup>ns</sup>	2,8a <sup>ns</sup>	2,4ab <sup>ns</sup>	2,1b <sup>ns</sup>	2,5
200	3,6a*	2,9bc <sup>ns</sup>	2,4cd <sup>ns</sup>	3,1ab*	2,7bc <sup>ns</sup>	2,1d <sup>ns</sup>	2,8
400	4,6a*	3,6b*	2,4c <sup>ns</sup>	4,0b*	3,6b*	2,3c <sup>ns</sup>	3,4
600	6,0a*	4,6b*	2,8cd <sup>ns</sup>	4,5b*	3,4c*	2,2d <sup>ns</sup>	3,9
Média	4,3	3,4	2,5	3,6	3,0	2,2	
CV(%) = 9,5 ; DMS <sub>Dunnett</sub> =0,6 ; DMS <sub>TUKEYfonte</sub> = 0,5							

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

Vale ressaltar que, segundo Korndörder et al. (2001), esses teores de Si no solo encontram-se em nível baixo ( $< 6 \text{ mg dm}^{-3} - \text{CaCl}_2$ ).

Em relação às doses de Si, verificou-se, para o solo RQo, um acréscimo nos teores desse nutriente no solo à medida que se aumentou a dose de Si para as fontes Wollastonita, Termofosfato MA e TMF II, enquanto que, para o LVd, esse comportamento foi observado para os produtos Wollastonita, Termofosfato MA e Dunito (FIGURA 19).

Ao investigarem a aplicação de Si na forma de sílica gel, Oliveira e Canuto (2016) observaram um aumento nos teores de Si em um Neossolo Quartzarênico pelo aumento da dose de Si.

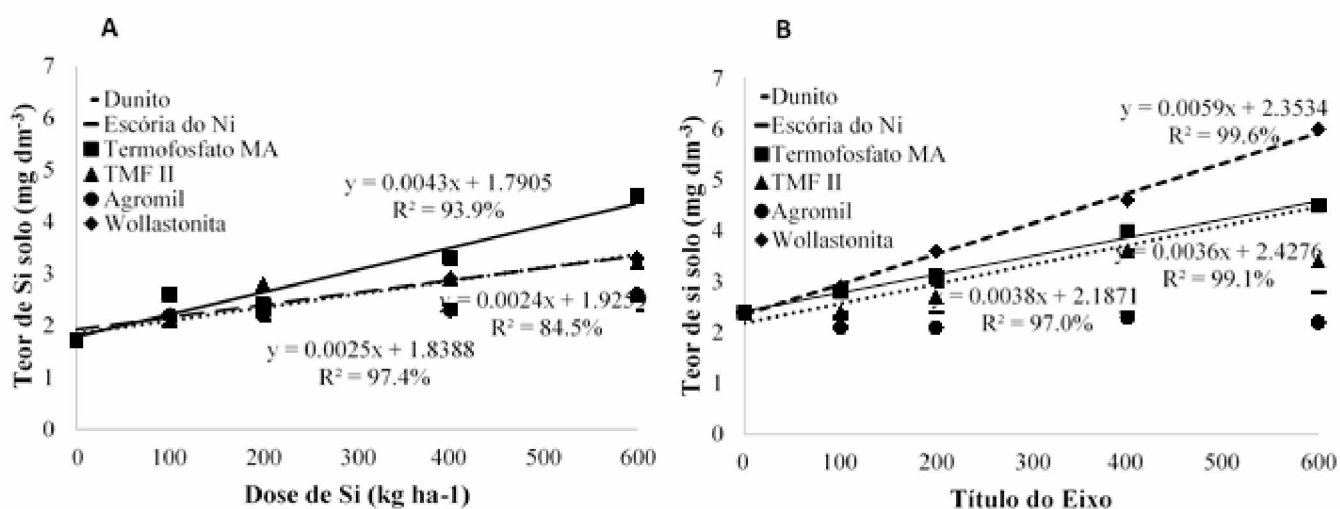


FIGURA 19. Teores de Si no solo, em solos classificados como Neossolo Quartzarênico órtico (Figura 19. A) e Latossolo Vermelho distrófico (Figura 19. B) em função da aplicação de doses crescentes de Si.

### 8.2.2. Massa seca

Para o Neossolo Quartzarênico, apenas a fonte padrão Wollastonita nas doses de 200, 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si proporcionou incremento na massa seca, em relação à testemunha. Independente da dose utilizada, essa fonte mais eficiente em aumentar os valores de massa seca, seguida pelo Termofosfato MA. O Dunito, por sua vez, destacou-se por ser a fonte menos eficiente em incrementar os valores de massa seca do sorgo (TABELA 28).

Apesar de todas as fontes terem incrementado os teores de Si no solo na dose de 600 kg ha<sup>-1</sup>, e, para o Termofosfato MA em todas as doses de Si, não foi observado efeito significativo do nutriente no aumento da produção de massa seca das plantas de sorgo,

exceto pela Wollastonita. Cessa et al. (2011), que estudaram o efeito da aplicação de Si e P para a cultura do sorgo, não observaram a ação do Si na produção de massa seca. Por outro lado, Silva (2013) encontrou um resultado diferente ao estudar o efeito das concentrações de Si e nitrogênio nas culturas do milho e do trigo. Segundo este autor, a presença do Si favoreceu o crescimento da matéria seca da parte aérea das plantas de milho.

TABELA 28. Valores de massa seca do sorgo colhido aos 43 DAS em um Neossolo Quartzarênico órtico 143 dias após aplicação.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	g vaso <sup>-1</sup>						
0				16,7			
100	19,0 <sup>ns</sup>	12,8 <sup>ns</sup>	12,6 <sup>ns</sup>	15,8 <sup>ns</sup>	13,9 <sup>ns</sup>	14,3 <sup>ns</sup>	14,7
200	22,5*	12,9 <sup>ns</sup>	13,1 <sup>ns</sup>	14,6 <sup>ns</sup>	14,6 <sup>ns</sup>	13,2 <sup>ns</sup>	15,2
400	22,6*	14,0 <sup>ns</sup>	14,9 <sup>ns</sup>	16,9 <sup>ns</sup>	14,5 <sup>ns</sup>	13,6 <sup>ns</sup>	16,1
600	21,2*	13,1 <sup>ns</sup>	13,9 <sup>ns</sup>	13,8 <sup>ns</sup>	13,2 <sup>ns</sup>	13,4 <sup>ns</sup>	14,8
Média	21,3a	13,2c	13,6bc	15,3b	14,1bc	13,6bc	

CV(%) = 12,8 ; DMS<sub>Dunnett</sub>=4,1 ; DMS<sub>TUKEY</sub>fonte = 2,0

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

Para o Latossolo Vermelho distrófico, novamente apenas a Wollastonita proporcionou acréscimo nos valores de massa seca do sorgo, nas doses de 200 e 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si em relação à testemunha, mostrando-se como a fonte mais eficiente em aumentar a massa seca das plantas de sorgo seguida do Termofosfato MA (TABELA 29). Não houve efeito significativo das doses de Si nos valores de massa seca do sorgo.

TABELA 29. Valores de massa seca do sorgo colhido aos 43 DAS em um Latossolo Vermelho distrófico 143 dias após aplicação.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	g vaso <sup>-1</sup>						
0				16,3			
100	18,4a <sup>ns</sup>	14,5b <sup>ns</sup>	12,9b <sup>ns</sup>	14,2b <sup>ns</sup>	14,9b <sup>ns</sup>	15,2ab <sup>ns</sup>	15,0
200	26,6a*	13,0c <sup>ns</sup>	13,2c <sup>ns</sup>	17,3b <sup>ns</sup>	15,1bc <sup>ns</sup>	14,6bc <sup>ns</sup>	16,6
400	23,0a*	14,4bc <sup>ns</sup>	12,9c <sup>ns</sup>	16,2b <sup>ns</sup>	13,6bc <sup>ns</sup>	14,7bc <sup>ns</sup>	15,8
600	19,6a <sup>ns</sup>	12,9c <sup>ns</sup>	13,1c <sup>ns</sup>	17,0ab <sup>ns</sup>	12,9c <sup>ns</sup>	14,3bc <sup>ns</sup>	15,0
Média	21,9	13,7	13,0	16,2	14,1	14,7	

CV(%) = 10,5 ; DMS<sub>Dunnett</sub>=3,4 ; DMS<sub>TUKEY</sub>fonte = 3,3

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

### 8.2.3. Silício na planta

Para o Neossolo Quartzarênico houve um incremento de Si na parte aérea das plantas aplicado via Wollastonita, Termofosfato MA e TMF II nas doses de 400 kg ha<sup>-1</sup> de Si e 600 kg ha<sup>-1</sup> de S, via Escória do Ni na maior dose e via Agromil nas doses de 200, 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si (TABELA 30). Na maior dose de Si, destacaram-se o padrão Wollastonita e o produto Termofosfato MA como as fontes que mais aumentaram o teor Si nas plantas de sorgo, em 9,2 g kg<sup>-1</sup> de Si e 6,7 g kg<sup>-1</sup> de Si, respectivamente (TABELA 30).

TABELA 30. Teores de Si na parte aérea do sorgo colhido 43 DAS em um Neossolo Quartzarênico órtico 143 dias após a aplicação.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>						
0	5,1						
100	6,2ab <sup>ns</sup>	4,9b <sup>ns</sup>	5,8ab <sup>ns</sup>	7,2a <sup>ns</sup>	6,7ab <sup>ns</sup>	7,2a <sup>ns</sup>	6,3
200	6,5a <sup>ns</sup>	5,5a <sup>ns</sup>	5,7a <sup>ns</sup>	6,7a <sup>ns</sup>	7,1a <sup>ns</sup>	7,7a*	6,5
400	9,0a*	5,0c <sup>ns</sup>	6,4bc <sup>ns</sup>	9,7a*	7,5a*	7,7ab*	7,6
600	14,3a*	4,3d <sup>ns</sup>	7,7c*	11,8b*	7,7c*	7,8c*	8,9
Média	9,0	4,9	6,4	8,8	7,2	7,7	

CV(%) = 15,1 ; DMS<sub>Dunnett</sub> = 2,3 ; DMS<sub>TUKEY</sub>fonte = 2,3

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

Para o Latossolo Vermelho, observou-se um comportamento semelhante, pois a Wollastonita e o Termofosfato MA proporcionaram acréscimo nos teores de Si nas plantas de sorgo, nas doses de 200, 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si para a Wollastonita e nas doses de 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si para o Termofosfato MA, em relação à testemunha. O produto TMF II aumentou o teor do nutriente nas plantas apenas na maior dose de Si (600 kg ha<sup>-1</sup> de Si) (TABELA 31).

Dentre essas fontes, a Wollastonita se destacou aumentando o teor de Si em 9,1 g kg<sup>-1</sup>, seguido do Termofosfato MA, o qual acrescentou em 5,8 g kg<sup>-1</sup> o teor de Si na parte aérea das plantas de sorgo na dose de 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, em relação à testemunha (TABELA 31).

TABELA 31. Teores de Si na parte aérea do sorgo colhido 43 DAS em um Latossolo Vermelho distrófico 143 dias após a aplicação.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	g kg <sup>-1</sup>						
0	6,2						
100	6,7a <sup>ns</sup>	6,3a <sup>ns</sup>	6,3a <sup>ns</sup>	6,6a <sup>ns</sup>	6,1a <sup>ns</sup>	6,2a <sup>ns</sup>	6,4
200	9,4a*	7,0b <sup>ns</sup>	6,7b <sup>ns</sup>	6,8b <sup>ns</sup>	6,4b <sup>ns</sup>	6,8b <sup>ns</sup>	7,2
400	11,5a*	7,9c <sup>ns</sup>	7,5c <sup>ns</sup>	9,9ab*	7,2c <sup>ns</sup>	7,2c <sup>ns</sup>	8,5
600	15,3a*	7,8c <sup>ns</sup>	8,7c <sup>ns</sup>	12,0b*	8,4c*	7,5c <sup>ns</sup>	10,0
Média	10,7	7,3	7,3	8,8	7,0	6,9	

CV(%) = 11,0 ; DMS<sub>Dunnett</sub> = 1,9 ; DMS<sub>TUKEY</sub> = 1,8

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

Para o Neossolo Quartzarênico órtico (FIGURA 20A), somente a Wollastonita e o Termofosfato MA apresentaram comportamento linear em relação às doses de Si, ou seja, quanto maior a dose de Si, maiores foram seus teores na parte aérea do sorgo. Para o Latossolo Vermelho distrófico, esse comportamento foi observado para as fontes Wollastonita, Termofosfato MA, Escória do Ni e TMF II (FIGURA 20B). No estudo de Oliveira e Canuto (2016), foram aplicadas doses crescentes de Si (200, 400, 600, 800 e 1000 kg ha<sup>-1</sup>) via sílica gel e esse mesmo comportamento linear foi observado. Isso vai de encontro com a afirmação de Resende et al. (2009) de que o sorgo é uma planta acumuladora de Si, sendo responsiva à adubação silicatada.

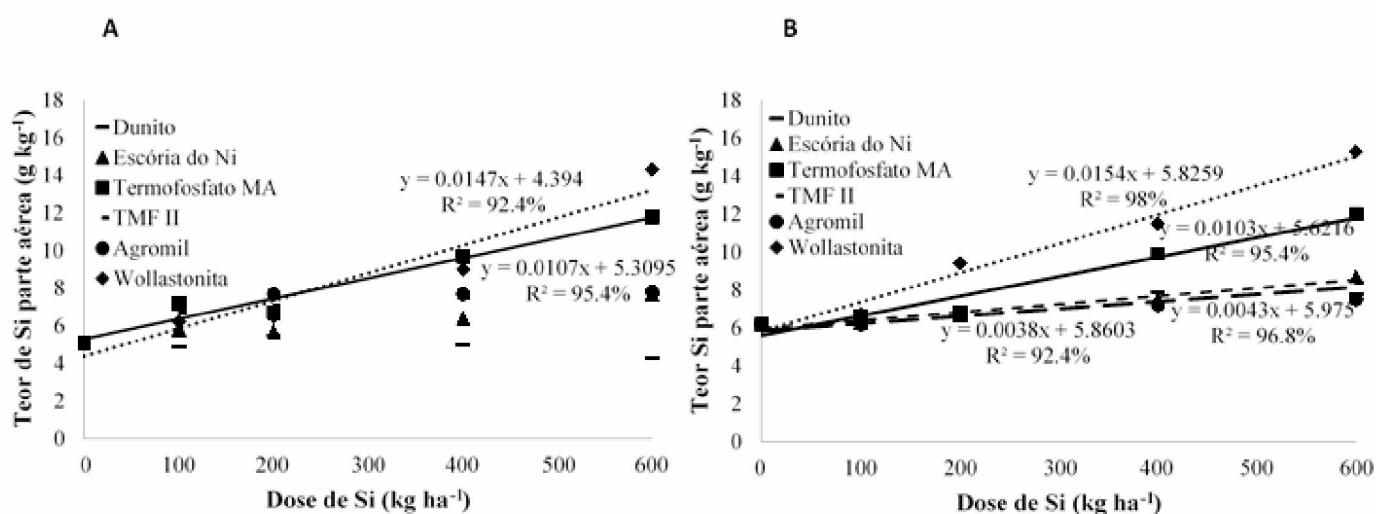


FIGURA 20. Teores de Si na parte aérea do sorgo colhidas aos 43 DAS em solos classificados como Neossolo Quartzarênico órtico (Figura 20A) e Latossolo Vermelho distrófico (Figura 20B) em função da aplicação de doses crescentes de Si.

#### 8.2.4. Silício acumulado

Para ambos os tipos de solo houve uma elevação no teor de Si acumulado pelas plantas de sorgo e, em relação à testemunha, apenas para as fontes Wollastonita e Termofosfato MA nas doses de 200, 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si e doses de 400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si, respectivamente (TABELAS 32 e 33). Também para os dois solos a fonte padrão Wollastonita se mostrou mais eficiente em proporcionar o acúmulo do nutriente, principalmente, nas maiores doses de Si (400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si) seguido do Termofosfato MA.

Tal comportamento já era esperado, tendo em vista a maior disponibilidade de Si para o solo e os maiores valores de Si nas plantas proporcionado pela Wollastonita e pelo Termofosfato MA. O maior acúmulo de Si na parte aérea das plantas é observado quando ocorre maior disponibilização do nutriente no solo (RAMOS et al., 2008). Tais fontes demonstraram maior poder residual do Si no solo e capacidade em fornecer o nutriente tanto para a cultura do arroz como do sorgo ao longo do tempo.

TABELA 32. Valores de Si acumulado na parte aérea do sorgo colhido 43 DAS em um Neossolo Quartzarênico órtico 143 dias após a aplicação.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	mg vaso <sup>-1</sup>						
0				85,1			
100	119,3a <sup>ns</sup>	78,5bc <sup>ns</sup>	65,8c <sup>ns</sup>	97,9ab <sup>ns</sup>	106,9ab <sup>ns</sup>	111,6ab <sup>ns</sup>	96,7
200	146,8a*	70,6b <sup>ns</sup>	75,0b <sup>ns</sup>	113,9ab <sup>ns</sup>	103,1b <sup>ns</sup>	102,5b <sup>ns</sup>	102,0
400	204,6a*	69,9c <sup>ns</sup>	95,7c <sup>ns</sup>	163,7b*	107,6c <sup>ns</sup>	104,3c <sup>ns</sup>	124,3
600	304,6a*	57,0d <sup>ns</sup>	105,0c <sup>ns</sup>	161,3b*	89,0dc <sup>ns</sup>	99,5c <sup>ns</sup>	136,3
Média	193,8	69,0	85,6	134,3	101,7	104,5	

CV(%) = 17,3 ; DMS<sub>Dunnett</sub> = 41,6 ; DMS<sub>TUKEYfonte</sub> = 40,8

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

TABELA 33. Valores de Si acumulado na parte aérea do sorgo colhido 43 DAS em um Latossolo Vermelho distrófico 143 dias após a aplicação.

Dose de Si aplicada ao solo	Wollastonita	Dunito	Escória do Ni	Termofosfato MA	TMF II	Agromil	Média
kg ha <sup>-1</sup>	mg vaso <sup>-1</sup>						
0	92,5						
100	124,0a <sup>ns</sup>	90,6a <sup>ns</sup>	77,8a <sup>ns</sup>	94,1a <sup>ns</sup>	90,8a <sup>ns</sup>	94,6aa <sup>ns</sup>	95,3
200	247,9a*	91,4b <sup>ns</sup>	83,9b <sup>ns</sup>	117,0b <sup>ns</sup>	97,4b <sup>ns</sup>	98,4b <sup>ns</sup>	122,7
400	263,7a*	90,2c <sup>ns</sup>	94,1c <sup>ns</sup>	160,9b*	97,9c <sup>ns</sup>	105,3c <sup>ns</sup>	135,4
600	300,0a*	99,6c <sup>ns</sup>	104,7c <sup>ns</sup>	204,0b*	106,5c <sup>ns</sup>	107,7c <sup>ns</sup>	153,7
Média	233,9	92,9	90,2	144,0	98,1	101,5	

CV(%) = 20,9 ; DMS<sub>Dunnett</sub> = 55,4 ; DMS<sub>TUKEY</sub>fonte = 54,4

Médias seguidas por letras distintas minúsculas na linha diferem entre si pelo teste de Tukey à 0,05 de significância; \* significativo e <sup>ns</sup> não significativo pelo teste de Dunnett a 0,01 de significância.

No que concerne à Wollasonita e ao Termofosfato MA, observou-se nos dois tipos de solo o aumento nos valores de Si acumulado no sorgo à medida que se elevou a dose de Si, sendo que a fonte padrão Wollastonita foi mais eficiente em relação ao Termofosfato MA (FIGURA 21).

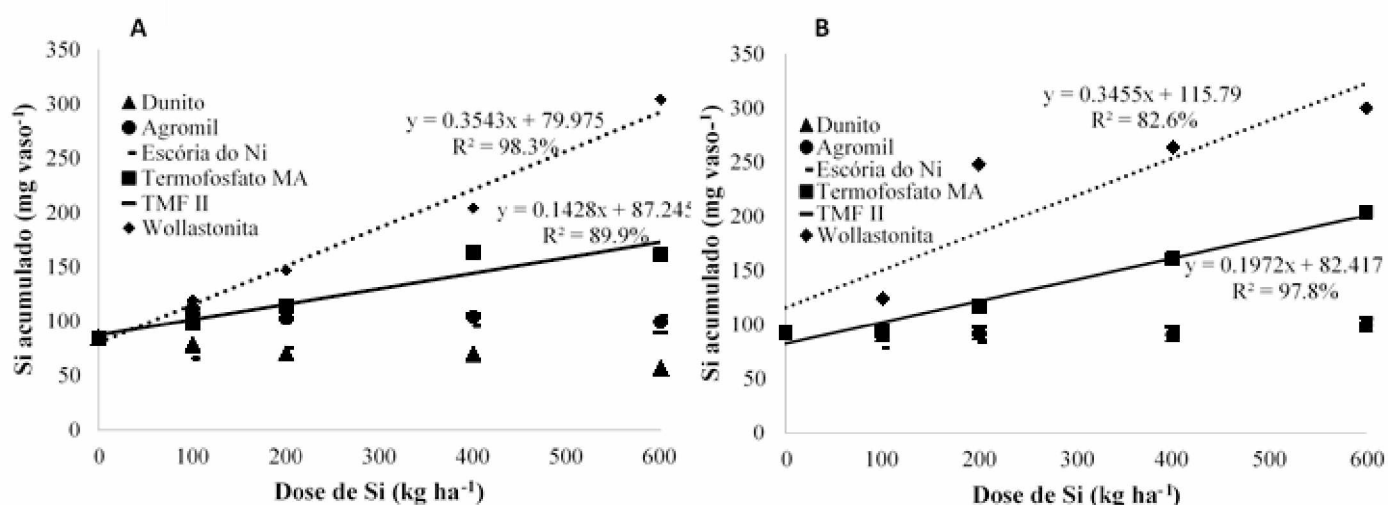


FIGURA 21. Valores de Si acumulado na parte aérea do sorgo colhido aos 43 DAS, em um Neossolo Quartzarênico órtico (Figura 21A) e em um Latossolo Vermelho distrófico (Figura 21B) em função da aplicação de doses crescentes de Si.

## 9. CONCLUSÕES

O produto Termofosfato MA se mostrou tão eficiente quanto a fonte padrão Wollastonita em fornecer Si para o solo e para as plantas de arroz e sorgo, principalmente nas maiores doses (400 e 600 kg ha<sup>-1</sup> de Si).

Já a aplicação de Si via Dunito e Agromil não aumentou os teores de Si no solo em nenhum dos solos durante o cultivo do arroz.

Assim, pode-se afirmar que as fontes Wollastonita e Termofosfato MA foram as mais eficientes em aumentar os valores de Si acumulado, Si na parte aérea e Si no solo, tanto para o arroz quanto para o sorgo, em ambos os solos.

Ademais, houve aumento linear nos teores de Si na parte aérea do arroz à medida que se aumentou a dose de Si para as fontes Termofosfato e Wollastonita no solo LVd. Para o RQo apenas a fonte Termofosfato MA apresentou esse mesmo comportamento.

Somente a fonte padrão Wollastonita aumentou os valores de massa seca do arroz e do sorgo e não houve efeito das doses de Si nos valores de massa seca para nenhuma das culturas.



## REFERÊNCIAS

ADATIA, M. H.; BESFORD, R. T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Annals of Botany**, London, v. 58, n. 3, p. 343-351, Sept. 1986.

ALCARDE, J.C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. 2.ed. São Paulo, Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, nº 6).

ASSIS, F. **Assistat**: Assistência Estatística. Disponível em: <<http://assistat.com/indexp.html>>. Acesso em: 30 out. 2016.

BARBOSA FILHO, M. P. et al. Importância do silício para a cultura do arroz: uma revisão de literatura. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 89, p. 1-8, 2000. (Encarte técnico).

BRASIL. Decreto nº 2954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da lei nº 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, Brasília, v.4, p.143-151, 1969.

CARDOSO, K. **Aplicação de silicato de cálcio na recuperação de pastagem degradada de *Brachiaria decumbens***. 2003. 48f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.

CARVALHO, S. P.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G. Efeito do Si na resistência do sorgo (*Sorghum bicolor*) ao pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rond.) (Homoptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 505-510, Sept.1999. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S030180591999000300017&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S030180591999000300017&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 14 jun. 2016.

CESSA, R. M. A. et al. Absorção de fósforo e crescimento do sorgo em função da aplicação de silício e fósforo em Latossolo Vermelho distroférrico. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.34, n.1, p.135-142, 2011. Disponível em <[http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0871018X2011000100012&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0871018X2011000100012&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 30 nov. 2016.

DATNOFF, L.E., RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, St. Paul, v.75, p.729-732, 1991.

DIAS, C. B.; RAMOS, L. A.; SOUZA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H. Influência de Fontes e Doses de Silicatos na Cultura do Arroz do Ecossistema de Várzea. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 5, 2010, Viçosa.

**Anais do V Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura.** Editor: Fabrício de Ávila Rodrigues, 2010. 385p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de pesquisa de solos (Rio de Janeiro- RJ). **Manual de métodos de análise de solo.** 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, 1999. 212p.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 641 - 664, 1999.

\_\_\_\_\_. Silicon in plants: facts vs concepts. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Orgs.). **Silicon in agriculture.** The Netherlands: Elsevier Science, 2001. 403 p.

\_\_\_\_\_.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas:** princípios, 2006. 403 p.

FARIA, R.J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo.** 2000. 47f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FAWE, A.; MENZIES, J.G.; CHERIF, M.; BELANGER, R.R. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. editors. **Silicon in agriculture.** The Netherlands: Elsevier Science; p. 159–69, 2001.

FERNANDES, M. D.; COSTA, L. R. T.; SANCHES, L. V. C.; SILVA, D. P.; BRAUER, R. L.; BULL, L. T. Teor e acúmulo de silício em duas cultivares de trigo em resposta à aplicação de silicato de cálcio. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 5, 2010. **Anais do V Simpósio Brasileiro sobre Silício na Agricultura.** Editor: Fabrício de Ávila Rodrigues, 2010, 385p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, v.6, p. 36-41, 2008.

FOY, C. D. Soil chemical factors limiting plant root growth. **Advances in Soil Science**, v. 19, p. 97 - 149, 1992.

GOMES, C. F., et al. Disponibilidade de silício para a cultura do arroz, em função de fontes, tempo de incubação e classes de solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n.4, p. 531-538, 2011.

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

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. Avaliação de fontes de silício para arroz. In: CONGRESSO NACIONAL DE ARROZ IRRIGADO, 1, 1999. Pelotas. *Anais...* Pelotas, p. 313-6, 1999.

\_\_\_\_\_.; V.A. ARANTES; G.F. CORRÊA; & G.H. SNYDER. Efeito do silicato de cálcio no teor de Si no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira Ciência e Solo**, Viçosa/MG. v. 23, n. 3, p. 623-629, 1999.

\_\_\_\_\_.; C.A. COLOMBO; P.L.C. LEONE. Termofosfato como fonte de silício para a cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v. 19, n. 1, p. 34-36, 2000.

\_\_\_\_\_.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do Si na produção da cana-de-açúcar. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v. 21, n. 2, p. 6-9, 2002.

\_\_\_\_\_.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. 3. ed. Uberlândia: GPSi/ICIAG/UFU, 2004a. 23p. (Boletim técnico, 1).

\_\_\_\_\_.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Uberlândia, 2004, 34p. (Boletim técnico, 2).

\_\_\_\_\_. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M.S (ed.). Nutrição mineral de plantas. Viçosa, MG, **Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, 2006. p. 355-374.

\_\_\_\_\_.; OLIVEIRA, L. A. Uso de silício em culturas comerciais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE SILÍCIO NA AGRICULTURA, 2010. Viçosa. **Anais...**, Viçosa, 2010. p. 3-25.

LIMA FILHO, O. F. **O silício na produtividade e sanidade agrícola**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste/MAPA, 2005. Folheto informativo.

\_\_\_\_\_. Aspectos gerais sobre o silício em solos, plantas e animais. **Silício na Agricultura**. 1ed.Viçosa: UFV, 2010, v. 1, p. 47-60.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plant. In: DATNOFF, L. E., KORNDÖRFER, G. H., SNYDER, G. (Orgs.). **Silicon in Agriculture**. New York: Elsevier science. 2001. p.17-39.

\_\_\_\_\_.;TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer, and plant silicon research in Japan**. ELSEVIER, 2002. 274 p.

\_\_\_\_\_.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends in Plant Science**, Amsterdam, v. 11, p. 392-397, 2006b.

\_\_\_\_\_.; YAMAJI, N.; MITANI, N.; TAMAI, K.; KONISHI, S.; FUJIWARA, T.; KATSUHARA, M.; YANO, M. An efflux transporter of silicon in rice. **Nature**, London, v. 448, p. 209-212, 2007.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres. 251 p. 1980.

\_\_\_\_\_.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 1997, 319 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 887p.1995.

MOTOMURA, H.; MITA, N.; SUZUKI, M. Silica accumulation in long-lived leaves of *Sasa veitchii* (Carrière) Rehder (Poaceae-Bambusoideae). **Annals of Botany**, Oxford, v. 90, p. 149-152, 2002.

OHKAWA, K. Studies on plant physiological function of silica. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 10, p. 96 - 101, 1936.

OLIVEIRA, L.A. DE. **Silício em plantas de arroz e feijão: absorção, transporte, redistribuição e tolerância ao cádmio**. 2009. 157f. Tese (Doutorado em Ciências). Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

OLIVEIRA, R. S. D.; CANUTO, D. M. F. Absorção de silício pelo sorgo em Neossolo Quartzarênico adubado com sílica. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v. 13, n. 23. 49 p. 2016.

PEREIRA, H.S.; KONDÖRFER, G.H.; VIDAL, A.A.; CAMARGO, M.S. Fontes de silício para a cultura do arroz. **Scientia Agricola**, Piracicaba v. 16, n. 5, p. 522-528, 2004.

QUEIROZ, A.A. **Reação de fontes de silício em quatro solos do cerrado**. 2003. 39f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2003.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafos, 1991, 343p.

RAMOS, L. A. **Reatividade de fontes de Si e sua eficiência na absorção e acumulação na cultura do arroz irrigado**. 2005. 63f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

RAMOS, L. A.; KORNDÖRFER, G. H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 3, p. 751-757, 2008.

RESENDE, R. S.; RODRIGUES, F. A.; SOARES, J. M.; CASELA, C. R. Influence of silicon on some components of resistance to anthracnose in susceptible and resistant sorghum lines. **European Journal of Plant Pathology**, v. 124, p.533-541, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10658-009-9430-6>> Acesso em: 17 nov. 2016.

ROCHA, L. C. M.; PRADO, R. M.; ALMEIDA, T. B. F. Efeito residual da escória de siderurgia como fontes de silício para cultura do sorgo. **Uruguiana**, v. 18, p. 101- 115, 2011.

SILVA, E. S. da. **Efeito das concentrações de nitrogênio e silício em plantas de milho e de trigo sob cultivo hidropônico**. 2013. 68f. Dissertação (Mestrado em

Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

SOUZA, D. M. G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da região do cerrado. **Informações Agronômicas**, Planaltina, v. 102, p. 1-16, 2003. (Encarte Técnico).

SOUZA, L. C. D. et al. Osmorreguladores em plantas de sorgo sob suspensão hídrica e diferentes níveis de silício. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 12, n. 3, p. 240-249, 2013.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: TAKAHASHI, E.; HOSHIKAWA, K. (Orgs.) **Science of the rice plant: Physiology**. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center, 1990. p. 420 - 433.

VIDAL, A.A. **Fontes de silício para a cultura do arroz**. 2003. 34f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2003.