

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ENZO LUIGI AMARAL LIMA**

**EFICIÊNCIA DA FLUORITA COMO FONTE DE SILÍCIO NA CULTURA  
DO ARROZ**

**Uberlândia**

**2025**

**ENZO LUIGI AMARAL LIMA**

**EFICIÊNCIA DA FLUORITA COMO FONTE DE SILÍCIO NA CULTURA  
DO ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Agronomia apresentado ao Instituto de  
Ciências Agrárias da Universidade Federal  
de Uberlândia como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Seron  
Pereira

Uberlândia

2025

**ENZO LUIGI AMARAL LIMA**

**EFICIÊNCIA DA FLUORITA COMO FONTE DE SILÍCIO NA CULTURA  
DO ARROZ**

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Agronomia apresentado ao Instituto de  
Ciências Agrárias da Universidade Federal  
de Uberlândia como requisito parcial para  
obtenção do título de Engenheiro  
Agrônomo

Uberlândia, 18 de Junho de 2025.

Banca Examinadora:

---

Hamilton Seron Pereira – Doutorado (USP)

---

João George Moreira - Mestrado (UFU)

---

Thiago Borges da Cruz - Mestrado (UFU)

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Carla e Wellington, por toda dedicação, cuidado e por priorizarem minha educação.

Aos meus irmãos, e familiares, por todo apoio e incentivo ao longo da vida.

A minha companheira Thiffani e meus amigos.

Ao professor Hamilton Seron Pereira, pela orientação.

Ao João George, técnico do Laboratório de Tecnologia de Fertilizantes.

Aos membros do Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura – GPSi, especialmente a Patrícia Ferreira e Leonardo Pimenta, pela colaboração na realização do experimento.

À Universidade Federal de Uberlândia, ao Instituto de Ciências Agrárias.

## RESUMO

O silício (Si) é um elemento amplamente abundante na crosta terrestre, e é considerado benéfico para o desenvolvimento de algumas espécies de plantas, sendo absorvido predominantemente na forma de ácido monossilícico ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ). Atualmente, há uma variedade de produtos disponíveis no mercado que são comercializados como fontes de silício. Entretanto, torna-se necessário investigar e identificar aquelas com maior potencial, considerando fatores como custo, facilidade de aplicação, teores de silício solúvel, cálcio (Ca) e magnésio (Mg). Diante disso, este estudo teve como objetivos avaliar diferentes fontes de Si quanto à produção de massa seca e ao acúmulo do nutriente em plantas de arroz. O experimento foi realizado em casa de vegetação, adotando delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $10 \times 3$ , composto por dez solos, dois tratamentos com aplicação de Si e uma testemunha sem adição do elemento. As fontes utilizadas foram wollastonita e fluorita com óxido de silício, aplicadas na dose de  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  de Si. Foram avaliados a massa seca da parte aérea das plantas e o teor de Si acumulado. Não foram observadas diferenças estatísticas na produção de massa seca entre os tratamentos. No entanto, o teor de Si na parte aérea foi superior ao das plantas tratadas com wollastonita. O maior acúmulo de silício foi registrado no solo 7 (Latossolo Vermelho distrófico – LVd).

**Palavras-chave:** *Oryza sativa*, Fontes de silício, Solos, wollastonita, acúmulo.

## ABSTRACT

Silicon (Si) is a widely abundant element in the Earth's crust and is considered beneficial for plant development, being predominantly absorbed in the form of monosilicic acid ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ). Currently, there are a variety of products available on the market that are commercialized as silicon sources. However, it is necessary to investigate and identify those with the greatest potential, considering factors such as cost, ease of application, levels of soluble silicon, calcium (Ca), and magnesium (Mg). Therefore, this study aimed to evaluate different Si sources regarding dry mass production and nutrient accumulation in rice plants. The experiment was carried out in a greenhouse, using a completely randomized design in a  $10 \times 3$  factorial scheme, consisting of ten soils, two treatments with Si application, and one control without the element. The sources used were wollastonite and fluorite with silicon oxide, applied at a rate of  $200 \text{ kg ha}^{-1}$  of Si. The dry mass of the aerial part of the plants and the accumulated Si content were evaluated. No statistical differences were observed in dry mass production between treatments. However, the Si content in the aerial part was higher in plants treated with wollastonite. The highest silicon accumulation was recorded in soil 7 (dystrophic Red Latosol – LVd).

**Keywords:** *Oryza sativa*, Silicon sources, Soils, wollastonite, accumulation.

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1-</b> Identificação, classe e procedência das amostras de solos estudadas.   | 11 |
| <b>Tabela 2 -</b> Caracterização física e química dos solos estudados.....  | 11 |
| <b>Tabela 3-</b> Quantidade de carbonato cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), carbonato de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ), e silicato de cálcio e magnésio aplicados aos diferentes solos, nos tratamentos, para elevação da saturação de bases a 70%..... | 14 |
| <b>Tabela 4 -</b> Resultados da produção de massa seca da parte aérea das plantas de arroz dos dez solos estudados.....   | 15 |
| <b>Tabela 5 -</b> Teor de Silício na parte aérea das plantas de arroz em dez tipos de solos com duas fontes de silício e a testemunha sem silício.....  | 16 |
| <b>Tabela 6 -</b> Silício acumulado na parte aérea das plantas de arroz em dez tipos de solos com duas fontes de silício e a testemunha sem silício.....  | 17 |

## **SUMÁRIO**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>                            | <b>8</b>  |
| <b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b>                 | <b>9</b>  |
| 2.1. Silício nas plantas                        | 9         |
| 2.2. Adubação com fertilizantes silicatos       | 9         |
| 2.3. Importância do Silício na Cultura do Arroz | 10        |
| <b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>                   | <b>11</b> |
| 3.1. Solos Utilizados                           | 11        |
| 3.2. Descrição do Experimento                   | 12        |
| 3.3. Análise da matéria seca                    | 13        |
| 3.4. Análises do tecido vegetal                 | 13        |
| 3.6. Análises Estatísticas                      | 15        |
| <b>4. RESULTADOS</b>                            | <b>15</b> |
| 4.1. Produção de massa vegetal                  | 15        |
| 4.2. Silício nas plantas                        | 16        |
| <b>5. DISCUSSÃO</b>                             | <b>18</b> |
| <b>6. CONCLUSÃO</b>                             | <b>19</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>               | <b>20</b> |



## 1. INTRODUÇÃO

O arroz (*Oryza sativa* L.) é um dos cereais mais cultivados e consumidos mundialmente, desempenhando papel fundamental na segurança alimentar de diversas populações. A produção mundial atualmente é de 515 milhões de toneladas anuais. O Brasil é o maior produtor e consumidor de arroz do Mercosul, produzindo 10,5 milhões de toneladas (Conab 2023).

Assim como outras gramíneas (cana-de-açúcar, sorgo, trigo, milho, etc.), o arroz possui grande capacidade de absorção de Si pelas suas raízes, o qual é translocado, acompanhando o fluxo de transpiração, acumulando-se na parte aérea que, embora não seja considerado elemento essencial, beneficia o crescimento e desenvolvimento da cultura, bem como reduz a transpiração cuticular e aumenta a tolerância das plantas ao ataque de pragas e patógenos (Korndörfer & Datnoff 1995, Lima Filho 2006).

Entretanto, não é todo silício que está disponível para absorção. Muitas fontes de silício estão em uma forma amorfa, com alto grau de organização, portanto com liberação dificultada. As plantas absorvem o Si da solução do solo na forma de ácido monossilícico  $\text{Si(OH)}_4$  (Tisdale et al., 1993).

O óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) é o mineral mais abundante nos solos, constituindo a base da estrutura da maioria dos argilominerais, entretanto, em razão do avançado grau de intemperização e acidez em que se encontram os solos tropicais, causando a dessilicação que é a lixiviação (KEEPING, 2017), do silício nas camadas mais profundas do solo, diminuindo a disponibilidade desse nutriente na solução do solo. A deficiência de Si em solos também é agravada pelas frequentes colheitas realizadas nas diversas culturas, induzindo a exportação deste elemento das áreas de cultivo (YAN et al., 2018).

Além das fontes naturais, as escórias siderúrgicas e os subprodutos da produção de superfosfato simples, superfosfato triplo e  $\text{H}_3\text{PO}_4$ , há a geração de um subproduto o ácido fluorsilícico ( $\text{H}_2\text{SiF}_6$ ), mas sua comercialização é menor que os volumes produzidos. Portanto, uma alternativa para o uso em larga escala do  $\text{H}_2\text{SiF}_6$  é o processamento do ácido fluorsilícico para precipitação de fluorita ( $\text{CaF}_2$ ) e sílica ( $\text{SiO}_2$ ) para uso agrícola (VALLE, 2016).

O aproveitamento de resíduos industriais como fontes alternativas permite uma destinação mais adequada desses materiais, que são gerados em grandes volumes, contribuindo assim para a redução de seus impactos ambientais negativos. Fontes de Si

que apresentam cálcio e ou magnésio em sua composição, resultam em efeitos relacionados a correção da acidez do solo, neutralização do H e Al tóxicos (MENEGALE et al., 2015).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho avaliar a fluorita com óxido de silício, em solos com diferentes texturas, como fonte de silício na agricultura.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. Silício nas plantas**

As plantas podem ser divididas em acumuladoras, intermediárias e não acumuladoras de silício, conforme sua capacidade de absorção e acúmulo desse elemento, o que pode ser avaliado pela relação molar entre silício e cálcio (Si:Ca) presente nos tecidos. Plantas com relação superior a 1 são classificadas como acumuladoras; entre 1 e 0,5, como intermediárias; e abaixo de 0,5, como não acumuladoras (MA et al., 2001).

A diferença do teor de silício contido nas plantas depende da habilidade de cada planta, mais precisamente de seu sistema radicular, em absorver o elemento (TAKAHASHI et al., 1990). Segundo Bakhat et al. (2018), o silício é absorvido pelas raízes e transferido à parte aérea seguindo os fluxos de transpiração, provocando um acúmulo capaz de aumentar a polimerização no sistema intercelular e abaixo das cutículas.

As plantas podem desenvolver defesas morfológicas, fisiológicas e bioquímicas que atuam como barreiras físicas ou químicas contra o ataque de insetos-praga (CAMARGO et al., 2011). A presença do silício contribui para potencializar esses mecanismos de defesa, ao integrar processos físicos e bioquímicos que fortalecem a resistência da planta frente a estresses bióticos, como a infestação por insetos (BAKHAT et al., 2018).

### **2.2. Adubação com fertilizantes silicatados**

A aplicação de silício pode ser realizada por diferentes vias, sendo as principais o solo (PEREIRA JÚNIOR et al., 2010) e a via foliar (MOREIRA et al., 2010), a depender das características do fertilizante utilizado. Ambas as formas têm demonstrado eficácia, promovendo respostas agrônômicas positivas. Adicionalmente, a fertirrigação constitui uma alternativa viável e eficiente para a inserção do silício no manejo

nutricional das culturas (SILÍCIO, IPNI Canadá; IPNI Canadá, 2011).

Segundo Lima Filho (2009), a adoção de tecnologias baseadas na aplicação de silício apresenta elevado potencial para a redução do uso de agroquímicos e o incremento da produtividade agrícola. Isso se deve à promoção de uma nutrição vegetal mais equilibrada e funcionalmente eficiente, resultando em plantas mais vigorosas, produtivas e resilientes.

Nesse contexto, Estesami e Jeong (2018) projetam que a utilização do silício especialmente sob formas oriundas de resíduos industriais, como escórias siderúrgicas, e de subprodutos agrícolas, como a palha de arroz tende a consolidar-se como uma estratégia sustentável e emergente na agricultura moderna. Estas fontes alternativas de silício, têm sido exploradas com sucesso, representando opções viáveis e sustentáveis no manejo da adubação silicatada (FERREIRA et al., 2021). Tal abordagem tem o potencial de intensificar o crescimento das culturas e mitigar os efeitos de estresses bióticos e abióticos.

### 2.3. Importância do Silício na Cultura do Arroz

O arroz (*Oryza sativa* L.), por ser uma espécie acumuladora de silício, apresenta grande capacidade de absorver este elemento durante seu desenvolvimento, chegando a concentrá-lo em níveis superiores aos de nutrientes essenciais como nitrogênio e fósforo (MA; YAMAJI, 2006).

A aplicação de silício tem sido relacionada à redução da severidade de doenças fúngicas, sendo a brusone (*Magnaporthe oryzae*) um exemplo significativo. De acordo com Seebold et al. (2004), plantas de arroz tratadas com silício apresentaram menor incidência da doença, mesmo em cultivares suscetíveis. Efeito atribuído tanto à formação de barreiras físicas quanto à ativação de mecanismos bioquímicos de defesa, como o acúmulo de compostos fenólicos e lignina nos tecidos vegetais (DATNOFF et al., 2001; RODRIGUES et al., 2015). Liang et al. (2006) observaram que o silício reduz a absorção de íons tóxicos em plantas submetidas à salinidade, promovendo melhor balanço iônico e estabilidade das membranas.

Em relação à produtividade, diversos autores reportam aumento na produção de grãos em função da aplicação de silício. Korndörfer e Lepsch (2001) destacaram incrementos no número de panículas, na porcentagem de grãos cheios e no peso de mil grãos, refletindo em maior rendimento da lavoura. Assim, o uso racional e técnico fundamentado do silício se mostra como uma prática eficaz para elevar a produtividade

do arroz, reduzir perdas por doenças e estresses ambientais, contribuindo para uma agricultura mais eficiente.

### 3. MATERIAI E MÉTODOS

#### 3.1. Solos Utilizados

Foram coletadas amostras de dez solos com diferentes teores de argila, em áreas distintas próximas aos municípios de Uberlândia - MG, Itumbiara - GO e Catanduva - SP, na profundidade de 0 a 40 cm (Tabela 1). Após a coleta, as amostras foram secas ao ar e peneiradas em malha de 4 mm para a instalação do experimento e em malha de 2 mm para as análises químicas e físicas.

**Tabela 1-** Identificação, classe e procedência das amostras de solos estudadas.

| <b>Solo</b>     | <b>Classe de Solo</b>                 | <b>Procedência</b> |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------|
| <b>1 – RQo</b>  | Neossolo Quartzarênico órtico         | Uberlândia         |
| <b>2 – PVAd</b> | Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico | Catanduva          |
| <b>3 – Rqo</b>  | Neossolo Quartzarênico órtico         | Uberlândia         |
| <b>4 – LVd</b>  | Latossolo Vermelho distrófico         | Uberlândia         |
| <b>5 – LVAd</b> | Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico | Morrinhos          |
| <b>6 – LVd</b>  | Latossolo Vermelho distrófico         | Uberlândia         |
| <b>7 – LVd</b>  | Latossolo Vermelho distrófico         | Itumbiara          |
| <b>8 – LVd</b>  | Latossolo Vermelho distrófico         | Uberlândia         |
| <b>9 – LVd</b>  | Latossolo Vermelho distrófico         | Uberlândia         |
| <b>10 - CXd</b> | Cambissolo Háplico distrófico         | Uberlândia         |

**Tabela 2** - Caracterização física e química dos solos estudados.

| Característica                             | Solo  |        |       |       |        |       |       |       |       |        |
|--|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|
|  | 1-RQo | 2-PVAd | 3-RQo | 4-LVd | 5-LVAd | 6-LVd | 7-LVd | 8-LVd | 9-LVd | 10-CXd |
| Argila (g kg <sup>-1</sup> )               | 51    | 124    | 134   | 192   | 293    | 336   | 381   | 456   | 583   | 623    |
| Silte (g kg <sup>-1</sup> )                | 40    | 19     | 15    | 74    | 92     | 150   | 390   | 386   | 236   | 215    |
| Areia fina (g kg <sup>-1</sup> )           | 354   | 653    | 353   | 457   | 351    | 248   | 89    | 48    | 106   | 116    |
| Areia grossa (g kg <sup>-1</sup> )         | 555   | 204    | 498   | 277   | 264    | 266   | 140   | 110   | 75,0  | 46     |
| Matéria orgânica (g kg <sup>-1</sup> )     | 6,1   | 10,3   | 7,7   | 12,4  | 13,8   | 33,5  | 18,1  | 7,5   | 11,1  | 8,8    |
| pH (CaCl <sub>2</sub> )                    | 4,9   | 4,9    | 4,5   | 4,2   | 4,8    | 5,1   | 5,4   | 5,1   | 5,0   | 4,8    |
| Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )   | 0,5   | 1,1    | 0,1   | 0,5   | 1,3    | 1,9   | 0,9   | 0,4   | 1,2   | 0,6    |
| Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )   | 0,1   | 0,7    | 0,1   | 0,2   | 0,5    | 2,2   | 0,5   | 0,2   | 0,1   | 0,1    |
| H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) | 1,3   | 1,0    | 1,9   | 1,9   | 3,2    | 0,5   | 2,6   | 1,3   | 2,8   | 2,2    |
| Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )   | 0,3   | 0,0    | 0,5   | 0,3   | 0,5    | 0,0   | 0,1   | 0,1   | 0,2   | 0,1    |
| K (mg dm <sup>-3</sup> )                   | 9,9   | 65,5   | 5,8   | 88,3  | 194,3  | 90,3  | 5,8   | 42,7  | 5,8   | 5,8    |
| P (mehlich) (mg dm <sup>-3</sup> )         | 2,9   | 9,5    | 2,5   | 0,3   | 8,1    | 2,0   | 2,3   | 1,5   | 1,6   | 2,0    |
| CTC (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )  | 1,9   | 3,0    | 2,1   | 2,9   | 5,5    | 4,9   | 4,0   | 2,0   | 4,0   | 2,9    |
| Saturação de Bases (%)                     | 30,7  | 67,9   | 10,0  | 33,2  | 41,9   | 90,0  | 35,2  | 34,4  | 31,3  | 25,7   |

As análises para caracterização dos solos foram realizadas adotando-se os métodos propostos pela Embrapa (SILVA, 1999) e Raij et al (2001) (Tabela 2).

### 3.2. Descrição do Experimento

O experimento foi conduzido em uma casa de vegetação na Universidade Federal de Uberlândia, campus Glória, utilizando delineamento inteiramente casualizado. Foram avaliadas duas fontes de silício (wollastonita e fluorita com óxido de silício) e uma testemunha sem adição de silício. Os tratamentos foram aplicados aos dez solos coletados, totalizando três tratamentos com quatro repetições cada, resultando em vinte vasos por tipo de solo e, ao todo, 120 unidades experimentais (fatorial 3 x 10). Cada vaso comporta 10 dm<sup>3</sup> de solo.

Inicialmente, foram aplicados ao solo carbonatos de cálcio e magnésio, juntamente com os silicatos, com o objetivo de elevar a saturação por bases para 70% e ajustar a relação cálcio/magnésio para 3:1 (Tabela 3). Em seguida, o solo foi homogeneizado e incubado por 30 dias, com irrigação. Após esse período, realizou-se a aplicação de fósforo, na forma de superfosfato triplo (39% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), na dose de 400 mg por vaso, e de potássio, na forma de cloreto de potássio (60% de K<sub>2</sub>O), na dose de 300 mg por vaso. A semeadura foi feita com 15 sementes por vaso e, aos 15 dias após a emergência, foi realizado o desbaste, mantendo-se seis plantas por vaso. A partir dessa fase, foram fornecidos nutrientes essenciais (N, K, Zn, Mn, B, Mo, Cu e S) por meio de

solução nutritiva, em quantidades adequadas para sustentar o desenvolvimento das plantas. A irrigação dos vasos foi mantida de forma a conservar a umidade do solo em 80% da capacidade de campo.

O experimento foi conduzido até o início da floração das plantas de arroz, momento em que foram colhidas rente ao solo para análise de matéria seca. O tempo total de condução do experimento foi de aproximadamente cinco meses, sendo cerca de 60 dias dedicados ao cultivo do arroz, até o ponto de colheita.

### 3.3. Análise da matéria seca

Após a coleta, o material vegetal foi acondicionado em sacos de papel e levado à estufa, onde permaneceu a 60 °C até atingir peso constante. Em seguida, determinou-se a matéria seca por meio da pesagem em balança com precisão de 0,01 g. Posteriormente, as folhas foram moídas em moinho tipo Willey, equipado com peneira de 20 mesh, e armazenadas em embalagens plásticas para análises futuras.

### 3.4. Análises do tecido vegetal

O procedimento de análise de silício, ocorreu pesando-se 0,1g do material vegetal em tubos de ensaio e extraídos através da digestão alcalina, este processo é feito através da oxidação da matéria orgânica, eliminando o carbono do tecido vegetal, utilizando peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ) e hidróxido de sódio (NaOH) , com a finalidade de melhorar a eficiência do oxidante e aumentar o pH da solução visando manter o Si do tecido vegetal em solução (ELLIOTT; SYNDER, 1991). Posteriormente, os tubos são colocados em banho-maria por uma hora, e então levados à autoclave. Após completa digestão, o extrato é usado na quantificação através de método colorimétrico.

**Tabela 3-** Quantidade de carbonato cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), carbonato de magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ), e silicato de cálcio e magnésio aplicados aos diferentes solos, nos tratamentos, para elevação da saturação de bases a 70%.

| Solos   | Tratamento 1                            |                 |                 | Tratamento 2                           |                 | Testemunha      |                                 |
|---------|---|-----------------|-----------------|--|-----------------|-----------------|---------------------------------|
|         | Wollastonita<br>(silicato de<br>cálcio) | $\text{CaCO}_3$ | $\text{MgCO}_3$ | Silicato<br>de cálcio<br>e<br>magnésio | $\text{CaCO}_3$ | $\text{MgCO}_3$ | $\text{CaCO}_3$ $\text{MgCO}_3$ |
|         | -----mg vaso <sup>-1</sup> -----        |                 |                 |  |                 |                 |                                 |
| 1 – RQo | 4262                                    | 3046            | 5577            | 13698                                  | 4050            | 5577            | 6275 5577                       |
| 2-PVAd  | 4262                                    | 664             | 4805            | 13698                                  | 1669            | 4805            | 3894 4805                       |
| 3 – RQo | 4262                                    | 4781            | 5634            | 13698                                  | 5785            | 5634            | 8011 5634                       |
| 4 – LVd | 4262                                    | 3714            | 4805            | 13698                                  | 4718            | 4805            | 6944 4805                       |
| 5 -LVAd | 4262                                    | 2315            | 2759            | 13698                                  | 3319            | 2759            | 5542 2759                       |
| 6 – LVd | 4262                                    | 2020            | 00              | 13698                                  | 3024            | 0               | 5250 0                          |
| 7 – LVd | 4262                                    | 3368            | 3246            | 13698                                  | 4372            | 3246            | 6598 3246                       |
| 8 – LVd | 4262                                    | 3826            | 5105            | 13698                                  | 4830            | 5105            | 7056 5105                       |
| 9 – LVd | 4262                                    | 0               | 5405            | 13698                                  | 942             | 5405            | 3168 5405                       |
| 10 -CXd | 4262                                    | 2310            | 5519            | 13698                                  | 3314            | 5519            | 5540 5519                       |

\* Os tratamentos foram balanceados relacionando a quantidade de cálcio e magnésio requeridas e os teores fornecidos pelos componentes dos tratamentos.

### 3.6. Análises Estatísticas

Com base nos resultados das análises de solo, matéria seca e teores de silício acumulados nas folhas de arroz, procedeu-se à análise estatística dos dados utilizando o software RStudio. Para a comparação entre os tipos de solo e as fontes de silício, foi realizada análise de variância (ANOVA) e, quando detectadas diferenças significativas, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Produção de massa vegetal

Em relação à produção de massa seca da parte aérea (Tabela 4), a análise de variância indicou que os fatores avaliados e sua interação não exerceram efeito significativo ( $p > 0,05$ ) sobre a variável estudada. Isso sugere que nem o tipo de solo nem o tratamento utilizado influenciaram significativamente os resultados.

**Tabela 4** - Resultados da produção de massa seca da parte aérea das plantas de arroz dos dez solos estudados.

| Tipo de Solo      | Tratamentos                         |          |            |
|-------------------|-------------------------------------|----------|------------|
|                   | Wollastonita                        | Fluorita | Testemunha |
|                   | -----Matéria Seca do Arroz (g)----- |          |            |
| <b>1 - RQo</b>    | 23,0                                | 24,2     | 22,6       |
| <b>2 - PVAd</b>   | 28,3                                | 24,1     | 20,4       |
| <b>3 - RQo</b>    | 25,6                                | 22,9     | 25,1       |
| <b>4 - LVd</b>    | 28,5                                | 25,1     | 22,6       |
| <b>5 - LVAd</b>   | 24,9                                | 27,9     | 24,3       |
| <b>6 - LVd</b>    | 25,1                                | 25,2     | 21,4       |
| <b>7 - LVd</b>    | 27,0                                | 25,4     | 25,7       |
| <b>8 - LVd</b>    | 22,8                                | 23,8     | 23,1       |
| <b>9 - LVd</b>    | 21,9                                | 25,4     | 24,4       |
| <b>10 - CXd</b>   | 23,6                                | 22,1     | 25,2       |
| <b>Média</b>      | 25,1                                | 24,7     | 23,4       |
| <b>CV = 15,1%</b> |                                     |          |            |

\*Teste de F a 0,05 de significância.

De forma geral, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos quanto à produção de massa seca. Resultado semelhante foi reportado por Pereira et al. (2003), que também não encontraram variações significativas na produção de massa seca de plantas de arroz entre as 12 fontes de silício avaliadas. Tokura et al. (2007), em estudo conduzido com arroz de sequeiro em dois tipos de solo (RQo e



LVdf), igualmente não verificaram alterações na massa seca da parte aérea. A absorção de silício tende a ser intensificada sob condições de estresse, tanto biótico quanto abiótico (OLIVEIRA, 2009). Assim, a ausência de efeito do silício na produção de massa seca observada neste estudo pode estar relacionada às condições ideais de cultivo em casa de vegetação, sem a presença de estresses ambientais e biológicos.

#### 4.2. Silício nas plantas

O teor médio de Si na parte aérea das plantas de arroz (Tabela 5) foi maior no tratamento com Wollastonita. O tratamento com fluorita apresentou valor médio de silício no tecido vegetal se diferenciando da testemunha. O solo 7 - LVd apresentou maior média de acúmulo de Si entre os solos. Os tratamentos com silício obtiveram médias maiores que o tratamento sem Si. O solo 1 - RQo apresentou baixos teores de Si no tecido vegetal em todos os tratamentos e menor média em relação aos outros solos. Entretanto, as fontes de Si resultou em acréscimos do teor de silício na parte aérea em relação a testemunha, o mesmo ocorreu com Gualberto (2018), em que a aplicação de Wollastonita, AgroSiCa e um subproduto da siderurgia resultou em incrementos da matéria seca da parte aérea em relação a testemunha.

**Tabela 5** - Teor de Silício na parte aérea das plantas de arroz em dez tipos de solos com duas fontes de silício e a testemunha sem silício.

| Tipo de Solo      | Tratamentos   |          |            |        |
|-------------------|---|----------|------------|--------|
|                   | Wollastonita  | Fluorita | Testemunha | Média  |
|                   | -----Silício no tecido vegetal (g kg <sup>-1</sup> )----- |          |            |        |
| <b>1 - RQo</b>    | 10,3  | 9,6      | 6,1        | 8,7d   |
| <b>2 - PVAd</b>   | 15,0  | 14,7     | 10,9       | 13,6bc |
| <b>3 - RQo</b>    | 15,0  | 13,7     | 11,3       | 13,4bc |
| <b>4 - LVd</b>    | 13,0  | 12,7     | 8,2        | 11,3cd |
| <b>5 - LVAd</b>   | 14,5  | 11,3     | 7,9        | 11,3cd |
| <b>6 - LVd</b>    | 16,1  | 17,3     | 9,4        | 14,3b  |
| <b>7 - LVd</b>    | 19,5  | 17,3     | 15,9       | 17,6a  |
| <b>8 - LVd</b>    | 14,6  | 12,6     | 8,0        | 11,8bc |
| <b>9 - LVd</b>    | 15,7  | 11,3     | 8,5        | 11,8bc |
| <b>10 - CXd</b>   | 14,1  | 15,8     | 13,1       | 14,4b  |
| <b>Média</b>      | 14,8A   | 13,6B    | 9,9C       |        |
| <b>CV = 16,1%</b> |   |          |            |        |

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5% de significância.

Todos os solos estudados apresentaram diferença significativa entre os tratamentos para o Si acumulado na parte aérea das plantas (Tabela 6), exceto os solos 1-RQo e 10-CXd. O solo 7 - LVd apresentou maior acúmulo de Si entre os solos, e apresentou maior teor de silício na parte aérea na média entre os tratamentos e solos, tal fator pode estar relacionado à maior disponibilidade de silício em solos argilosos. Korndörfer et al. (1999) e Gomes et al. (2011), também observaram que houve maior disponibilidade de Si para as plantas no Latossolo Vermelho distroférico (LVdt), em relação ao Neossolo Quartzarênico (RQo). No tratamento com wollastonita os solos 7-LVd, 2-PVAd e 6-LVd apresentaram o maior acúmulo de Si, e o solo 1- RQo apresentou o menor valor acumulado. Em estudo com Argissolo Vermelho Amarelo, Felisberto et. al (2014) observaram que os filossilicatos aumentaram a produção de fitomassa fresca, seca e conteúdo de silício na parte aérea das plantas de milho em relação ao tratamento com wollastonita e ao controle. No tratamento com fluorita os solos 2- PVAd, 5-LVAd, 6-LVd e 8-LVd a fluorita se difere positivamente em relação a testemunha. No entanto, os solos 1-RQo e 9-LVd apresentaram os piores valores de acúmulo de silício.

**Tabela 6** – Silício acumulado na parte aérea das plantas de arroz em dez tipos de solos com duas fontes de silício e a testemunha sem silício.

| Tipo de Solo      | Tratamentos  |              |             |
|-------------------|--|--------------|-------------|
|                   | Wollastonita   | Fluorita     | Testemunha  |
|                   | -----Silício Acumulado (mg vaso <sup>-1</sup> )----- |              |             |
| <b>1 – RQo</b>    | 233,4 c A  | 232,7 c A    | 139,2 d A   |
| <b>2 - PVAd</b>   | 425,4 ab A   | 354,4 abc A  | 225,2 bcd B |
| <b>3 – RQo</b>    | 383,9 b A  | 311,7 abc AB | 278,6 abc B |
| <b>4 – LVd</b>    | 367,1 b A  | 314,4 abc A  | 189,1 cd B  |
| <b>5 - LVAd</b>   | 361,8 bc A   | 321,1 abc A  | 197,2 bcd B |
| <b>6 - LVd</b>    | 405,9 ab A   | 433,6 ab A   | 202,7 bcd B |
| <b>7 – LVd</b>    | 524,4 a A  | 437,5 a Ab   | 409,9 a B   |
| <b>8 – LVd</b>    | 336,5 bc A   | 302,1 bc A   | 185,8 cd B  |
| <b>9 – LVd</b>    | 341,7 bc A   | 282,7 c Ab   | 201,9 bcd B |
| <b>10 - CXd</b>   | 315,1 bc A   | 352,3 abc A  | 329,7 ab A  |
| <b>Média</b>      | 369,5  | 334,3        | 236,0       |
| <b>CV = 18,5%</b> |  |              |             |

\*Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna não diferem significativamente pelo Teste Tukey a 5% de significância.

## **5. CONCLUSÃO**

Pelo acúmulo de Si na parte aérea a fluorita com óxido de silício apresenta resultados semelhantes aos da Wollastonita, indicando ser uma boa fonte para o fornecimento de Si as plantas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAKHAT, Hafiz Faiq; BIBI, Najma; ZIA, Zahida; ABBAS, Sunaina; HAMMAD, Hafiz Mohkum; FAHAD, Shah; ASHARAF, Muhammad Rizwah; SHAH, Ghulam Mustafa; RABBANI, Faiz; SAEED, Shafqat. **Silicon mitigates biotic stresses in crop plants: A review**. Crop Protection, [S. l.], v. 104, n. March 2017, p. 21–34, 2018. DOI: 10.1016/j.cropro.2017.10.008.

CAMARGO, J. M. M.; MORAES, J. C.; ZANOL, Q. M. R.; QUEIROZ, D. S. L. **Interação silício e insetos-praga: defesa mecânica ou química?** Revista de Agricultura, v. 86, n. 1, p. 62-79, 2011. Disponível em: <http://www.fealq.org.br/ojs/index.php/revistadeagricultura/article/view/81>.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Primeira estimativa para safra de grãos 2024/25 indica produção de 322,47 milhões de toneladas**. Conab, Brasília, 15 de outubro de 2024. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/ultimas-noticias/5770-primeira-estimativa-para-safra-de-graos-2024-25-indica-producao-de-322-47-milhoes-de-toneladas#:~:text=Para%20a%20%C3%A1rea%20estima%2Dse,%2C9%25%20na%20%C3%A1rea%20semeada>. Acesso em: 10 abr. 2025.

DATNOFF, L. E.; DOSTER, M. A.; SNYDER, G. H. **Silicon fertilization for disease management of rice in Florida**. Crop Protection, Amsterdam, v. 20, n. 1, p. 41–47, 2001.

ELLIOTT, C. L.; SNYDER, G. H. **Autoclave-induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw**. Journal of Agricultural Food Chemistry, Washington, v. 39, p. 1118-1119, 1991.

ETESAMI, H.; JEONG, B. R. **Silicon (Si): review and future prospects on the action mechanisms in alleviating biotic and abiotic stresses in plants**. Ecotoxicology and Environmental Safety, [S. l.], v. 147, p. 881–896, 2018. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.09.063. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.09.063>.

FELISBERTO, Guilherme et al. **Filossilicatos: efeitos no crescimento e na nutrição de plantas de milho e no teor de silício no solo**. 2014.

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.

GUALBERTO, Camila de Andrade Carvalho. **Subprodutos industriais como fontes de silício e condicionadores de solos tropicais em cultivo de arroz inundado**. 2018. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Solos) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2018.747>.

KEEPING, M. G. **Uptake of silicon by sugarcane from applied sources may not reflect plant-available soil silicon and total silicon content of sources**. Frontiers in Plant Science, v. 8, p. 1–14, 2017. Disponível em:

<https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00760>.

KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. **Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 23, p. 101-106, 1999.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. **Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana de açúcar e do arroz**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 70, p. 1-5, 1995.

KORNDÖRFER, G. H.; LEPSCH, I. **Uso do silício na agricultura: estado da arte**. STAB - Açúcar, Alcool e Subprodutos, Piracicaba, v. 20, n. 1, p. 36-41, 2001.

LIANG, Y. C. et al. **Silicon-mediated enhancement of cadmium tolerance in maize (*Zea mays* L.) grown in cadmium contaminated soil**. Chemosphere, Oxford, v. 62, n. 2, p. 177-183, 2006.

LIMA FILHO, O. F. **Histórico e uso do silicato de sódio na agricultura**. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste, 2009. 112 p.

MA, J. F.; MYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. **Silicon as a beneficial element for crop plants**. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (ed.). Silicon in agriculture. Amsterdam: Elsevier, p. 17-39, 2001.

MENEGALE, M. L. C.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. **Silício: interação com o sistema solo-planta**. Journal of Agronomic Sciences, v. 4, p. 435-454, 2015.

MOREIRA, A. R. et al. **Resposta da cultura de soja à aplicação de silício foliar**. Bioscience Journal, Uberlândia, v. 26, n. 3, p. 413-423, maio/jun. 2010. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7122>.

PEREIRA JÚNIOR, P. et al. **Efeito de doses de silício sobre a produtividade e características agronômicas da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 34, n. 4, p. 908-913, jul./ago. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/cagro/v34n4/v34n4a16.pdf>.

REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 27.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 11.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 9.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 6., 2006, Bonito, MS. **A busca das raízes: anais**. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2006. (Embrapa Agropecuária Oeste. Documentos, 82).

RODRIGUES, F. A. et al. **Silício na resistência a doenças em plantas**. Tropical Plant Pathology, Brasília, v. 40, n. 1, p. 1-10, 2015.

TISDALE, S. L. et al. **Soil fertility and fertilizer**. New York: Macmillan, 1993. 634 p.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; CARNEIRO, L. F.; ALOVISI, A. A. **Silício e fósforo em diferentes solos cultivados com arroz de sequeiro**. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 29, n. 1, p. 9-16, 20 ago. 2007. DOI: 10.4025/actasciagron.v29i1.58.

VALLE, L. A. R. **Avaliação do potencial de uso agrícola da fluorita com óxido silício (AgroSiCa), derivado da fabricação de fertilizantes fosfatados.** 2016. 121 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

YASSUDA, M. **Comportamento de fosfatos em solos de cerrado.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Piracicaba, 1989. 62 p.