

Crescimento, biomassa e qualidade fisiológica do arroz em função da aplicação foliar de silício**Growth, biomass and physiological quality of rice as a function of foliar application of silicon**

DOI:10.34117/bjdv6n4-170

Recebimento dos originais: 20/03/2020

Aceitação para publicação: 13/04/2020

Charlismilã Amorim do Couto

Doutorando em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás
 Universidade Federal de Goiás
 Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, Goiânia – Goiás, Brasil
 E-mail: charliscouto@hotmail.com

Rilner Alves Flores

Professor Doutor da Universidade Federal de Goiás
 Universidade Federal de Goiás
 Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, Goiânia – Goiás, Brasil
 E-mail: rilner@ufg.br

José Castro Neto

Mestre em Agronomia pela Universidade Federal de Goiás
 Universidade Federal de Goiás
 Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, Goiânia – Goiás, Brasil
 E-mail: jcastronetto@uol.com.br

Murilo de Melo Peixoto

Doutor em Ecologia e Biologia Evolutiva pela Universidade de Toronto
 Universidade Federal de Goiás
 Instituto de Ciências Biológicas - UFG. Campus Samambaia, Caixa Postal 131, CEP 74001-970 -
 Goiânia - GO –Brasil
 E-mail: muriluo@gmail.com

Jonas Pereira de Souza Junior

Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo) pela Universidade Estadual Paulista
 Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
 Via de Acesso Paulo Donato Castellane, s/n, Bairro industrial, Jaboticabal, São Paulo, Brasil
 E-mail: jonas.psj@hotmail.com

Renato de Mello Prado

Professor Doutor da Universidade Estadual Paulista
 Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho"
 Via de Acesso Paulo Donato Castellane, s/n, Bairro industrial, Jaboticabal, São Paulo, Brasil
 E-mail: rm.prado@unesp.br

Márcio Mesquita

Professor Doutor da Universidade Federal de Goiás
 Universidade Federal de Goiás

Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, Goiânia – Goiás, Brasil
E-mail: marciomes@gmail.com

Virginia Damin

Professora Doutora da Universidade Federal de Goiás
Universidade Federal de Goiás
Avenida Esperança, s/n, Campus Samambaia, Goiânia – Goiás, Brasil
E-mail: virginiadamin@gmail.com

RESUMO

As plantas de arroz são acumuladoras de silício (Si), assim o uso de adubação foliar de alta solubilidade em baixas doses pode melhorar o estado nutricional e fisiológico das plantas, além de promover ganhos em produtividade. Desta forma, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação foliar de Sina cultura do arroz. O estudo foi realizado em casa de vegetação com delineamento experimental inteiramente casualizado, constituídos de cinco doses de silício (0 (controle); 0,84; 1,68; 2,52 e 3,36 g L⁻¹ de Si), aplicadas na forma de silicato de potássio e sódio, com quatro repetições. Em cada tratamento as soluções foram equilibradas em potássio de modo a se isolar o efeito do Si. Foram realizadas avaliações de crescimento, produção de biomassa, acúmulo de Si e de qualidade fisiológica. A aplicação de silício via foliar não afeta o índice relativo de clorofila e as variáveis biométricas, com exceção da área foliar a qual aumenta em doses não superiores a 1,68 g L⁻¹ de Si. As variáveis fisiológicas das plantas de arroz praticamente não são afetadas pelas doses de Si via foliar, com exceção da concentração interna de CO₂. O aumento no acúmulo de Si pelas plantas de arroz, não incrementa a produção de biomassa seca, sendo que a partir da dose de 1,68 g L⁻¹ de Si há uma redução na eficiência de utilização, com decréscimos na produção de biomassa, o que sugere que esta seja a dose máxima para a cultura do arroz.

Palavras-chave: *Oryza sativa* L.; fertilizante foliar; elemento benéfico; fotossíntese; transpiração.

ABSTRACT

Rice plants are silicon accumulators (Si), so the use of foliar fertilization of high solubility in low doses can improve the nutritional and physiological state of the plants, besides promoting gains in productivity. Thus, the objective of this research was to evaluate the effect of foliar application of Si on rice crop. The study was conducted in a greenhouse with a completely randomized design, consisting of five doses of silicon (0 (control), 0.84, 1.68, 2.52 and 3.36 g L⁻¹ of Si), applied in the form of sodium potassium silicate, with four replicates. In each treatment the solutions were equilibrated in potassium in order to isolate the effect of Si. Growth, biomass production, Si accumulation and physiological quality were evaluated. Leaf silicon application does not affect the relative chlorophyll index and the biometric variables, except for the foliar area, which increases at doses no higher than 1.68 g L⁻¹ of Si. The physiological variables of rice plants are practically non-existent are affected by foliar Si doses, with the exception of the internal CO₂ concentration. The increase in Si accumulation by rice plants does not increase the production of dry biomass, and from the dose of 1.68 g L⁻¹ of Si there is a reduction in the efficiency of use, with decreases in the production of biomass, suggesting that this is the maximum dose for rice cultivation.

Key-words: *Oryza sativa* L.; foliar fertilization; beneficial element; photosynthesis; transpiration.

1 INTRODUÇÃO

O silício (Si) é um dos minerais mais abundantes na crosta terrestre, devido ao elevado grau de intemperização dos solos tropicais, este elemento é encontrado na forma de quartzo ou outras

formas não disponíveis para as plantas (Barbosa Filho et al., 2001). Na solução do solo, o silício encontra-se disponível para as plantas na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4), sendo um elemento móvel e absorvido pelas plantas por fluxo de massa (Jones e Handrick, 1967).

Todavia, o uso de silicato incorporado ao solo exige altas doses, podendo ocorrer reações de polimerização no solo, diminuindo sua disponibilidade (Carvalho et al., 2009). Com o surgimento de novas fontes de Si com alta solubilidade é possível viabilizar o uso de Si em diferentes culturas auxiliando na busca pela sustentabilidade agrícola, especialmente em cultivos de cereais como o arroz.

As plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) são classificadas como acumuladoras de silício (Si) apresentando alta resposta na produção por meio da adubação silicatada (Pereira et al., 2004; Moraes et al., 2011; Shi et al., 2013; Nascimento et al., 2018). Isto porque, após absorção do Si, o mesmo é depositado na parede celular da epiderme formando uma dupla camada de sílica-cutícula e sílica-celulosa, promovendo vários benefícios para as plantas, como redução da transpiração e aumento a eficiência de uso da água (Ma e Yamaji, 2006).

Em adição, o uso de Si foliar de alta solubilidade tem apresentado resultados significativos aumentando a taxa de fotossíntese, o índice relativo de clorofila e a área foliar em plantas de Sorgo (Flores et al., 2018); No entanto, o efeito da aplicação de Si altamente solúvel sobre o desenvolvimento de plantas de arroz e suas eficiências nutricionais ainda não são conhecidos.

Nesse contexto, é pertinente testar as hipóteses a) o uso de Si foliar de alta solubilidade em baixas doses pode melhorar o estado nutricional e fisiológico das plantas, e, se sim, b) promover ganhos em produção de biomassa. Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi avaliar o efeito da aplicação foliar de silício, em uma forma com alta solubilidade, na qualidade fisiológica, na produção de biomassa e acúmulo de silício pela cultura do arroz.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, na Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, Estado de Goiás, Brasil, no período de outubro a dezembro de 2016. Foi realizado o plantio de arroz da cultivar Serra Primavera em vasos com capacidade de 8 dm³ preenchidos com 7,5 dm³ de amostras da camada de 0-20 cm de profundidade de um Latossolo Vermelho distrófico argiloso (Santos et al., 2013).

Foi realizada análise química inicial do solo, o qual apresentou as seguintes propriedades químicas: pH: 4,4 ($CaCl_2$); Al^{3+} : 0,5 cmol_c dm⁻³; matéria orgânica: 2,3 g dm⁻³; P: 0,8 mg dm⁻³; K^+ : 25 mg dm⁻³; Ca^{2+} : 0,4 cmol_c dm⁻³; Mg^{2+} : 0,3 cmol_c dm⁻³; SO_4^{2-} : 5,6 mg dm⁻³; Zn^{2+} : 1,4 mg dm⁻³; B: 0,14 mg dm⁻³; ($H+Al^{3+}$): 1,27 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca de cátions (CTC): 2,03 cmol_c dm⁻³;

saturação de bases (V%): 37,4%. A análise granulométrica foi: 530, 180 e 135 g kg⁻¹ de argila, silte e areia, respectivamente.

A correção do solo e elevação da saturação por bases à 60% foi realizada por meio da calagem, utilizando-se o calcário (CaO=36%; MgO=15%; PN=98%; PRNT=92,54%). O solo permaneceu incubado por um período de 30 dias, mantendo a massa de solo úmida com 60% da capacidade de campo. Após esse período, antes do plantio, realizou-se a adubação de base, na forma de solução nutritiva, com as doses equivalentes a 70 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na forma de fosfato monoamônio (MAP); 60 kg ha⁻¹ de K₂O na forma de cloreto de potássio (KCl); 70 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia. A adubação com ureia foi dividida, sendo aplicado 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura e o restante (50 kg ha⁻¹ de N), aos 30 dias após a semeadura, de acordo com Souza e Lobato (2004).

A semeadura foi realizada no dia 06 de dezembro de 2016 na quantidade de dez sementes por vaso, sendo, 10 dias após a emergência (DAE), feito desbaste de modo a manter 2 plantas por vaso. Após semeadura as plantas os vasos foram irrigados com a finalidade de manter a umidade do solo em 60% da capacidade de retenção de água, a qual foi mantida durante todo período experimental.

Os tratamentos foram dispostos em delineamento experimental inteiramente casualizado composto por cinco concentrações de Si foliar: T1 - (0 (controle); T2 - 0,84; T3 - 1,68; T4 - 2,52 e T5 - 3,36 g L⁻¹ de Si) aplicados na forma de silicato de sódio e potássio estabilizado com sorbitol (Si=124 g L⁻¹; 42 g K₂O L⁻¹; 31 g Na₂O L⁻¹; d=1,15 g L⁻¹; pH 11,9) em quatro repetições. Em cada tratamento, o conteúdo de potássio foi equilibrado com o uso de cloreto de potássio, sendo: T1 - 1,904; T2 - 1,428; T3 - 0,952; T4 - 0,476 de g L⁻¹ de KCl, e T5 - sem aplicação de KCl, respectivamente.

A calda silicatada foi preparada com silicato de sódio e potássio estabilizado com sorbitol sendo o valor pH ajustado entre 6 e 7. A aplicação foliar de Si foi realizada imediatamente após o preparo da calda, utilizando pulverizador manual visando à cobertura total da parte aérea, e para isso a superfície do substrato foi coberta com material impermeável para evitar escorrimento da solução silicatada para o substrato, impedindo absorção radicular do Si.

Foram realizadas 3 aplicações quando as plantas completaram 1/3 do estágio vegetativo (30 DAE), 2/3 do estágio vegetativo (45 DAE) e no final do estágio vegetativo em pré-florada (60 DAE).

Uma semana após as aplicações de Si e 75 DAS foi mensurada, na terceira folha completamente expandida foi mensurado o índice relativo de clorofila (IRC), com auxílio do aparelho da Falker[®] modelo Clorofilog CFL 1030.

Na mesma folha, aos 90 DAS, foi realizada a taxa de fotossíntese líquida e a condutância estomática, considerando duas folhas por unidade experimental, foi utilizado o analisador portátil de gases infravermelhos (IRGA) modelo LICOR 6400, como descrito por Santos Junior et al. (2006). As medições foram realizadas entre as 8 horas e as 15 horas, em folhas totalmente estendidas, em boas condições fitossanitárias. As respostas das variáveis fotossintéticas à intensidade luminosa foram determinadas para a densidade do fluxo de fótons (PPFD) de $550 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com a câmara foliar ajustada para operar com uma concentração de CO_2 de $380 \pm 5 \mu\text{mol mol}^{-1}$, temperatura de $31 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ e vapor d'água de $21 \pm 1 \text{ mmol mol}^{-1}$ com área foliar de 1 cm^2 .

Aos 90 DAS o experimento foi finalizado, sendo avaliada a área foliar conforme metodologia descrita por Hermann e Câmara (1999).

$$AF = C \cdot L \cdot 0,75 \cdot (N+2)$$

em que C é o comprimento da folha bandeira, L é a largura da folha +3, 0,75 é o fator de correção para área foliar da cultura, e N é o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde.

Posteriormente, as plantas foram coletadas e separadas em parte aérea das raízes. As amostras do tecido vegetal foram lavadas com solução detergente 0,1%, solução ácida 0,3% e água destilada, para posterior secagem em estufa ($65^\circ\text{C} \pm 5$, 48 horas) e determinação da massa seca da parte aérea e raízes. Nos tecidos vegetais (parte aérea e raízes) foram realizadas determinação do teor de silício de acordo com Korndörfer, Pereira e Nola (2004). Em seguida, calculou-se o acúmulo de Si na parte inteira a partir dos dados do teor de Si no tecido foliar e do acréscimo de massa seca.

Alguns índices nutricionais foram calculados utilizando os dados de matéria seca e nutrientes contidos nas plantas, conforme descrito por Prado (2008). A eficiência de absorção (AB_{ef}), eficiência de transporte (TR_{ef}) e eficiência de uso de nutrientes para conversão em matéria seca (UT_{ef}) foram calculadas conforme apresentado nas Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$AB_{ef} = \frac{\text{Conteúdo total de nutrientes na planta}}{\text{matéria seca de raiz}} \text{ [Equação 1]}$$

(Swiaderet al., 1994).

$$TR_{ef} = \frac{\text{Conteúdo de nutrientes na parte aérea}}{\text{Conteúdo total de nutrientes na planta}} \text{ [Equação 2]}$$

(Li e Allen, 1991).

$$UT_{ef} = \frac{(\text{Produção total de matéria seca})^2}{\text{Conteúdo total de nutrientes na planta}} \text{ [Equação 3]}$$

(Siddiqi e Glass, 1981).

Quando foi observada interação significativa foi realizada uma análise de regressão ($p \leq 0,05$) para obter a melhor dose utilizando o programa Sisvar, Brasil (Ferreira, 2014). Os parâmetros utilizados para a escolha do modelo de regressão foram a significância do teste F, R^2 predito e ajustado e a independência dos gráficos residuais (incluindo o teste de Durbin-Watson para verificar correlação entre resíduos adjacentes).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Houve incremento quadrático no índice relativo de clorofila (IRC) em função do tempo após semeadura, independentemente das concentrações aplicadas de Si, sendo o ponto máximo observado, aos 77 dias (Figura 1).

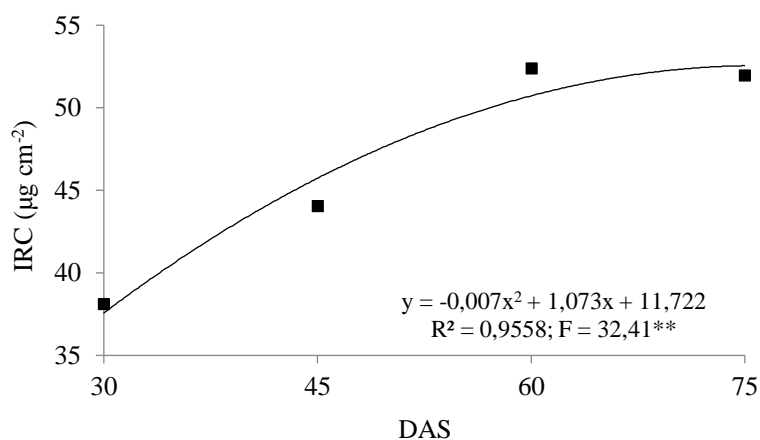


Figura 1. Índice relativo de clorofila (IRC) de arroz cv. Primavera em função de dias após a semeadura. ** - significativa a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tem sido verificado valores médios para o índice relativo de clorofila (IRC) pela cultura do arroz no momento da diferenciação da panícula entre 40 e 42 $\mu\text{g cm}^{-2}$ (Argenta et al., 2001), porém, os elevados valores de IRC verificados aos 75 dias após o plantio nesta pesquisa (53 $\mu\text{g cm}^{-2}$) demonstraram que as plantas de arroz estavam bem nutridas em nitrogênio (N) pela adubação de cobertura (50 kg ha^{-1} de N).

A fertilização com Si foliar pode ser potencializada pela maior resposta das plantas à aplicação de N-fertilizante, isto devido à relação direta do Si com o metabolismo do N (Silva et al., 2015; Campos et al., 2015; Chu et al al., 2017). O sinergismo entre estes elementos tem sido observado onde a fertilização de Si tem possibilitado maior absorção e acúmulo de N pelas plantas de arroz (Cuong et al., 2017), *Urochloa Brizantha* (Fonseca et al., 2009) trigo e milho (Silva, 2013).

Tem sido relatado em pesquisas que à altura das plantas de arroz não são influenciadas pelas aplicações de Si foliar (Ahmad et al., 2013; Cuong et al., 2017) e que o Si não promove o

crescimento das plantas (Pei et al., 2010), isto pelo fato deste elemento não influenciar no crescimento de estruturas anatômicas (Zanão Junior et al., 2017).

A aplicação de Si foliar tem influenciado diretamente nos valores de diâmetro de colmo das plantas em algumas pesquisas (Kamenidou et al., 2008), porém, em várias pesquisas não tem apresentado diferenças significativas (Cessa et al., 2011; Freitas et al., 2011). Apesar de poucos relatos do efeito do Si no diâmetro do colmo, o aumento nessa variável pode ainda ocorrer devido a uma redução da evapotranspiração, causando um aumento da pressão celular e a deposição do silício na parede celular, aumentando a resistência do colmo (Epstein, 1994).

O aumento da área foliar propicia maior taxa fotossintética, e assim, maior síntese de compostos orgânicos que fornecem energia para as plantas, melhorando o potencial produtivo das culturas (Sousa et al., 2010; Zanão Junior et al., 2017). A aplicação de Si foliar também tem aumentado a área foliar de outras espécies gramíneas como a cana-de-açúcar (Moraes et al., 2011), trigo (Gong et al., 2003) e sorgo (Ahmed et al., 2011).

A aplicação de Si incrementou com ajuste quadrático a área foliar das plantas de arroz nas avaliações aos 60 dias, sendo a maior área foliar observada com o uso de 1,29 g L⁻¹, a qual atingiu a área foliar de 1687,29 cm² (Figura 2).

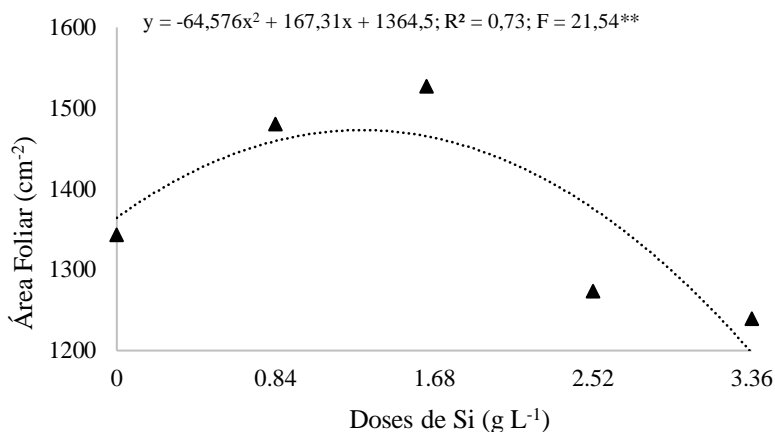


Figura 2. Área foliar de arroz cv. Primavera em função da aplicação de Si foliar em 60 dias após a semeadura. ** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

A concentração interna de CO₂ foi influenciada com ajuste quadrático pela aplicação de Si sendo o ponto máximo observado em ppm na concentração de 1,45 g L⁻¹ de Si (Figura 3).

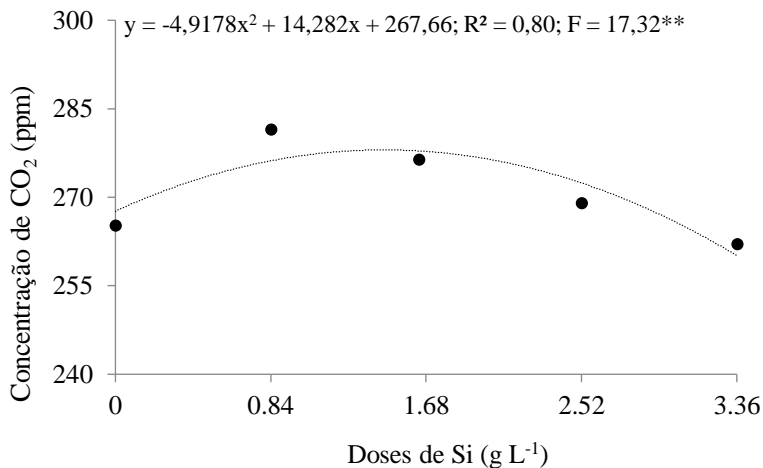


Figura 3. Concentração de CO₂ de arroz cv. Primavera em função da aplicação de Si foliar. ** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

Tem sido verificado em diversas pesquisas resultados positivo para as características fisiológicas das plantas de arroz em função da fertilização de Si (Chu et al., 2017; Bueno et al., 2017). A importância do Si em relação aos aspectos fisiológicos das plantas ocorre principalmente quando as condições ambientais são adversas e pode promover melhorias por meio da redução da condutância estomática, da taxa de transpiração (Gao et al., 2006) e aumentando da taxa fotossintética (Zanetti et al., 2016).

A concentração interna de CO₂ para dose de 1.45 g L⁻¹ de Si apresentou incremento de 5% em relação ao tratamento controle (Figura 3). Estes resultados podem ter ocorrer, mas dependem das condições ambientais ou endógenas (Dias et al., 2014) Isto demonstra a importância do Si no controle das atividades enzimáticas e influências sobre os processos bioquímicos nos tecidos vegetais (Matichenkov e Kosobrukhov, 2004), especialmente pelo potencial de aumentar a concentração interna de CO₂ no mesófilo foliar das plantas (Taiz e Zeiger, 2013).

Em outras pesquisas, a concentração interna de CO₂ também tem se enquadrado em equações polinomiais quadráticas, atingindo um ponto máximo e seguido de uma redução nas maiores doses de Si utilizadas (Dias et al., 2014), porém, alguns resultados tem demonstrado redução de 33% na concentração interna de CO₂ em plantas de arroz (Bueno et al., 2017).

A aplicação foliar de Si incrementou com ajuste quadrático a produção de massa seca da parte aérea (DMAP) e da planta inteira de arroz (DMEP), com pontos máximos observados nas concentrações de 1,08 e 3,36 g L⁻¹ de Si, para DMAP e DMEP, respectivamente. A produção de massa seca da raiz (DMR), por sua vez, foi incrementada com ajuste linear, apresentando efeitos significativos em função da aplicação de Sivia foliar.

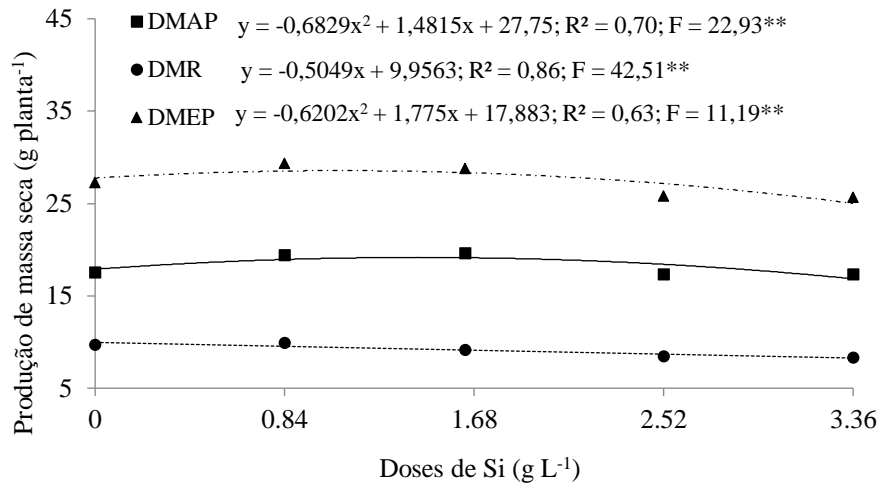


Figura 4. Massa seca da parte aérea (DMAP), raiz (DMR) e planta inteira (DMEP) de arroz cv. Primavera em função da aplicação de Si foliar. ** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

O aumento da produção de massa seca da parte aérea (DMAP) e massa seca das plantas inteiras (DMEP) promovido por meio de fertilizações com Si foliar ocorreram devido este elemento tornar os tecidos das plantas mais tenros, reduzindo o acamamento (Tamai e Ma, 2008), com as plantas mais eretas, ocorre aumento da interceptação da luz e conseqüentemente, maior taxa fotossintética (Souza et al., 2010), o que promove aumento da síntese de carboidratos (Malavolta, 2006; Prado, 2008).

Desta forma, os efeitos benéficos são expressos nas plantas pelo Si depositado nas folhas e ramos (Sousa et al., 2010). As plantas de arroz são consideradas como acumuladoras de Si (Prado, 2008), sendo que diversas pesquisas tem se demonstrado resultados satisfatórios pelo elemento benéfico (Pereira et al., 2004; Bueno et al., 2017; Nascimento et al., 2018).

Tem sido verificada correlação linear significativa entre as fertilizações foliares com Si e a DMAP das plantas de arroz (Shi et al., 2013; Cuong et al., 2017), além de maiores produções de massa seca de raízes (DMR) e DMEP de arroz com o aumento do fornecimento de Si (Ramos et al., 2008; Chagas et al., 2016). Em outras gramíneas, a aplicação foliar de Si também tem aumentado a DMAP, como verificado em plantas de milho (Campos et al., 2015) e cana-de-açúcar (Moraes et al., 2011).

O decréscimo da DMR pode ter ocorrido em função dos altos acúmulos de Si (107.36 mg planta⁻¹) nas raízes das plantas de arroz com o uso da maior dose de Si (3.36 g L⁻¹), podendo promover diminuição do número de raízes, e isto tem sido observado em plantas cultivadas com maiores concentrações do elemento, podendo resultar em desequilíbrio nutricional na planta (Dias et al., 2017).

Em relação ao acúmulo de silício nos compartimentos das plantas, observa-se que a aplicação foliar de Si promove incrementos significativos com ajustes quadráticos, tanto na parte área, raiz e na planta total (Figura 5). Os maiores acúmulos foram observados com o uso de 3,36 g L⁻¹ de Si para a parte aérea (DMAP) e planta inteira (DMEP), os quais atingiram 395,11 e 497,10 mg de Si por planta de arroz, respectivamente. No entanto, para o acúmulo de Si nas raízes, os maiores valores observados (102,14 g planta⁻¹) foram observados com o uso de 3,19 g L⁻¹ de Si.

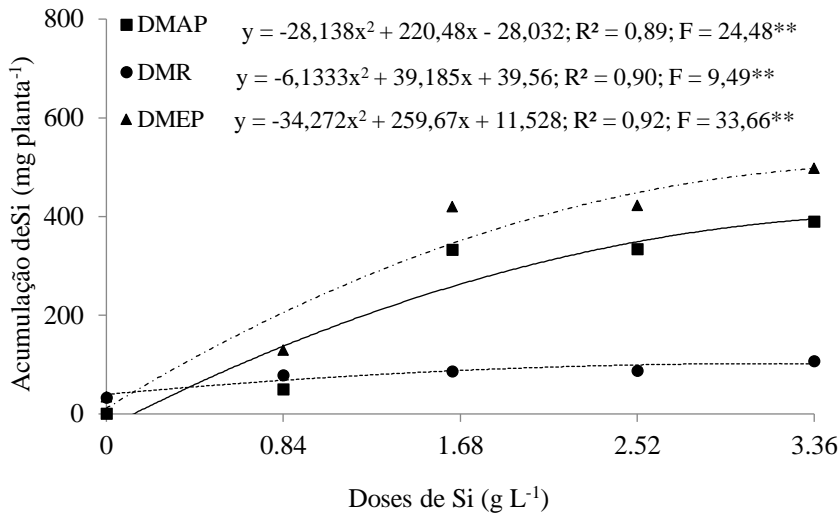


Figura 5. Acúmulo de Si na parte aérea (DMAP), raiz (DMR) e planta inteira (DMEP) em arroz cv. Primavera em função da aplicação de Si foliar. ** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

O fornecimento de Si para as plantas tem sido considerado viável para absorção e acúmulo do elemento nas plantas (Pereira et al., 2004; Chagas et al., 2016;), pois supre a necessidade nutricional e estimula os efeitos benéficos, principalmente em fertilizações foliares (Sousa et al., 2010), mesmo quando realizado poucas aplicações e baixas doses durante o ciclo das culturas (Soratto et al., 2012). Em pesquisas com a cultura do arroz, tem sido observado que a aplicação de Si foliar aumenta a concentração deste elemento no tecido vegetal, promovendo maior acúmulo pelas plantas (Detmann et al., 2012; Cuong et al., 2017).

A diferença verificada para o acúmulo de Si na parte aérea em relação a raiz ocorreu devido aos mecanismos fisiológicos das próprias plantas de arroz que condicionam maior acúmulo de Si na parte aérea quando comparado as raízes (Meena et al., 2014).

Em relação às eficiências quanto ao uso do Si pelas plantas de arroz, observa-se que a aplicação deste elemento via foliar promove efeitos significativos tanto na eficiência de absorção, transporte e utilização (Figura 6). Nota-se que para a eficiência de absorção e de transporte, os maiores valores observados foram obtidos com o uso de 2,96 e 2,65 g L⁻¹ de Si, os quais atingiram 3,95 mg g⁻¹ e 83,2%, respectivamente. Já em relação à eficiência de utilização, observou-se que a

partir da dose de 1,68 g L⁻¹ de Si a eficiência tendeu a zero, ou seja, a partir desta dose, a planta de arroz não consegue converter o Si absorvido em ganho de massa seca (Figura 6).

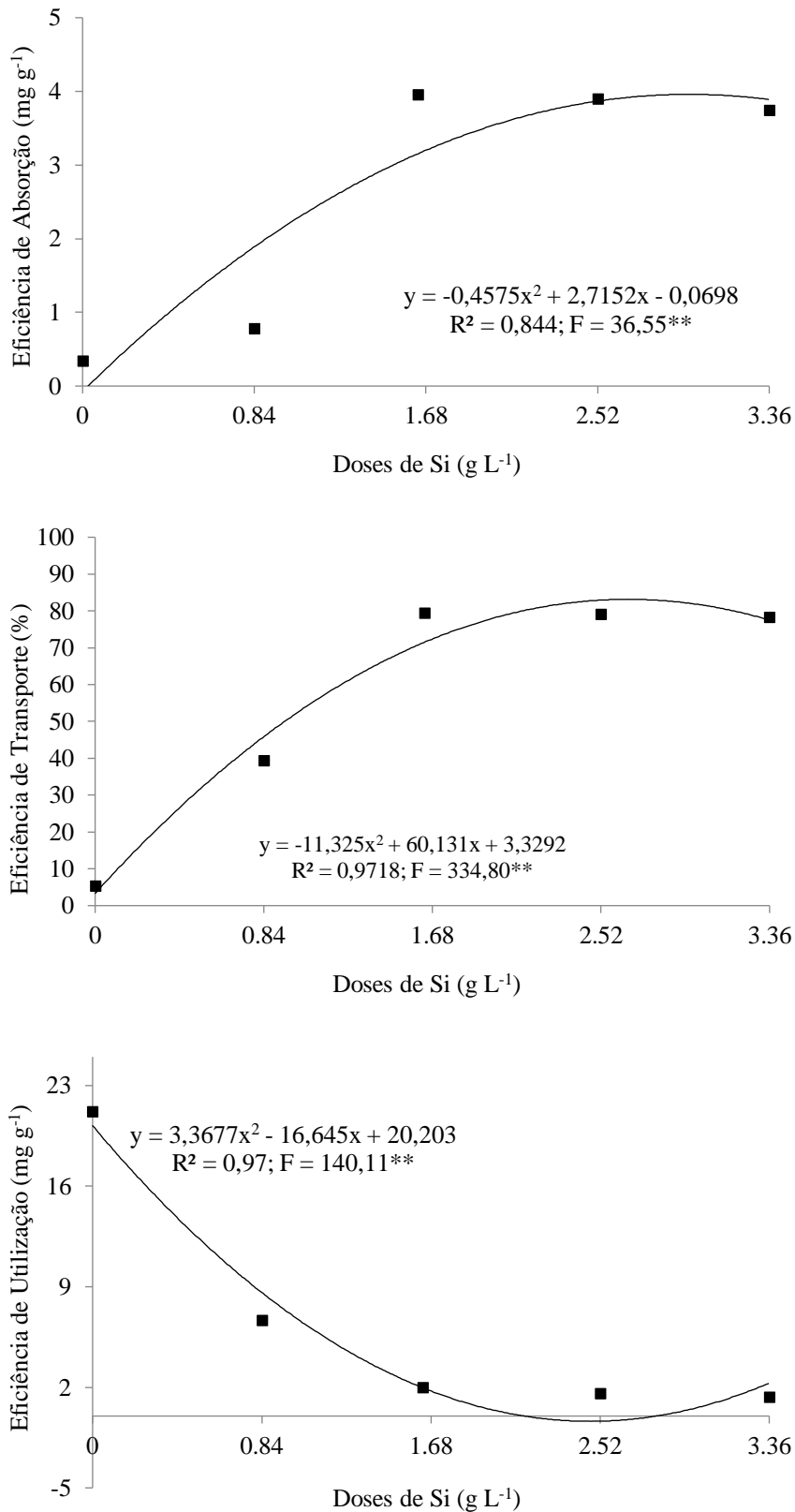


Figura 6. Eficiência de absorção, transporte e utilização de Si em arroz cv. Primavera em função da aplicação de Si foliar. ** - significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

O Si é considerado imóvel na planta (MaeYamaji, 2006; Malavolta, 2006; Prado, 2008), não apresentando translocação pelo floema, porém nos resultados encontrados houve redistribuição do elemento, já que foi encontrado na raiz um aumento do teor de Si de 474,63% em relação ao tratamento controle (sem aplicação de Si). Esse aumento pode ser devido a presença do sorbitol, composto solúvel de maior mobilidade no floema, na formulação do Si foliar.

O sorbitol é um poliol com ação umectante, a qual retarda a secagem da solução pelo abaixamento do ponto de eliquescência da formulação na folha, prolongando o processo de absorção (Will et al., 2011). Além disso, o sorbitol pode sofrer interação de alguns nutrientes, como o boro, resultando em maior mobilidade dentro do floema em plantas que produzem naturalmente polióis (Brown e Hu, 1998).

4 CONCLUSÕES

A aplicação de silício via foliar não afeta o índice relativo de clorofila e as variáveis biométricas, com exceção da área foliar a qual aumenta em doses não superiores a $1,68 \text{ g L}^{-1}$ de Si.

As variáveis fisiológicas das plantas de arroz praticamente não são afetadas pelas doses de Si via foliar, com exceção da concentração interna de CO_2 , a qual apresenta comportamento semelhante à área foliar.

O aumento no acúmulo de Si pelas plantas de arroz, não incrementa necessariamente a produção de biomassa seca, sendo que a partir da dose de $1,68 \text{ g L}^{-1}$ de Si há uma redução na eficiência de utilização do Si pela planta, com decréscimos na produção de biomassa, o que sugere que esta seja a dose foliar máxima a ser aplicada para a cultura do arroz visando ganhos em produtividade.

REFERÊNCIAS

- Ahmad, A.; Afzal, M.; Ahmad, A.U.H.; Tahir, M. Effect of foliar application of silicon on yield and quality of rice (*Oryza sativa* L). **Cercetari Agronomice in Moldova**, v.46, n.3, p.21-28, 2013. <https://pdfs.semanticscholar.org/76f6/3a90548fb1a1eeb38f231ace7551125624b1.pdf>. Acesso em: 08 Jan. 2019.
- Ahmed, M.; Hassen, F.U.; Qadeer, U.; Aslam, A. Silicon application and drought tolerance mechanism of sorghum. **African Journal of Agricultural Research**, v.6, p.594-607, 2011. https://academicjournals.org/article/article1380880995_Ahmed%2520et%2520al.pdf. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Argenta, G.; Silva, P.R.F.; Bortolini, C.G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. **Ciência Rural**, v.31, n.4, p.715-722, 2001.

<http://www.scielo.br/pdf/cr/v31n4/a27v31n4.pdf>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Barbosa Filho, M.P.; Snyder, G.H.; Fageria, N.K.; Datnoff, L.E.; Silva, O.F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.325-300.

<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v25n2/09.pdf>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Soratto, R.P.; Fernandes, A.M.; Crusciol, C.A.C.; Souza-Schlick, G.D. Produtividade, qualidade de tubérculos e incidência de doenças em batata, influenciados pela aplicação foliar de silício.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.47, n.7, p.1000-1006, 2012. <http://www.scielo.br/pdf/pab/v47n7/47n07a17.pdf>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Nascimento, I.O.; Rodrigues, A.A.C.; Braun, H.; Santos, C.C.; Catarino, A.M. Silicon fertilization and seed microbiolization on disease severity and agronomic performance of upland rice. **Revista Caatinga**, v.31, n.1, p. 126-134, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-21252018v31n115rc>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Lange, A.; Isernhagen, E.C.C.; Figueiredo, A.H.; Machado, R.A.F.; Zanuzo, M.R.; Cavalli, C.; Cavalli, E. Doses de fosfatagem corretiva em arroz de terras altas em cultivo de primeiro ano.

Revista de Ciências Agroambientais, v.14, n.1, p.60-66, 2016. <https://periodicos.unemat.br/index.php/rcaa/article/view/1411>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Silva, E.S.; Prado, R.M.; Santos, D.M.M.; Cruz, F.J.R.; Campos, C.N.S. Nitrogen components, growth and gas exchange in spring wheat plants grown under interaction of silicon (Si) and nitrogen (N). **Australian Journal of Crop and Science**, v.9, n.9, p.790-798, 2015. <https://search.informit.com.au/documentSummary;dn=528304764499476;res=IELHSS>.

Acesso em: 08 Jan. 2019.

Malavolta, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Editora Agronômica Ceres: São Paulo, 2006.

Zanão Junior, L.A.; Venegas, V.H.A.; Fontes, R.L.F.; Carvalho-Zanão, M.P.; Maranhão, L.T.; Pereira, N. Leaf anatomy and gas exchange of ornamental sunflower in response to silicon application.

Bioscience Journal, v.33, n.4, p.833-842, 2017. <http://dx.doi.org/10.14393/BJ-v33n4a2017-36559>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Goes, R.J.; Rodrigues, R.A.F.; Takasu, A.T.; Arf, O. Qualidade industrial do arroz sob efeito do manejo da fertilização nitrogenada de cobertura em plantio direto. **Revista Agrarian**, v.9, n.33,

p.219-227, 2016.<http://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/viewFile/3397/3656>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Bueno, A.C.S.O.; Castro, G.L.S.; Silva Junior, D.D.; Pinheiro, H.A.;Filippi, M.C.C.; Silva, G.B.Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence in leaf scald-infected rice under influence of rhizobacteria and silicon fertilizer. **Plant Pathology**, v.66, n.9, p.1487-1495, 2017.<https://doi.org/10.1111/ppa.12690>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Chu, M.; Liu, M.; Ding, Y.; Wang, S.; Liu, Z. Tang, S.; Ding, C.; Chen, L.; Li, C. Effect of nitrogen and silicon on rice submerged at tillering stage. **Agronomy Journal**.v.110, n.1, p.183-192, 2017.<https://doi.org/10.2134/agronj2017.03.0156>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Matichenkov, V.V.; Kosobrukhov, A.A. Silicon effect on the plant resistance to salt toxicity. 13th International Soil Conservation Organization Conference. **Abstracts...Conserving Soil and Water for Society**, Brisbane, July 2004. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.601.2490&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Dias, G.M.G.; Soares, J.D.R.; Pasqual, M.; Silva, R.A.L.; Rodrigues, L.C.A.; Pereira, F.J.; Castro, E.M. Photosynthesis and leaf anatomy of *Anthurium* cv. Rubi plantlets cultured in vitro under different silicon (Si) concentrations. **Australian Journal of Crop and Science**, v.8, n.8, p.1160-1167, 2014.<https://pdfs.semanticscholar.org/8a93/4a54f0acbe7f9c8e0dc43496a05d41d552ed.pdf>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Dias, G.M.G.; Soares, J.D.R.;Ribeiro, S.F.; Martins, A.D.; Pasqual, M.;Alves, E. Morphological and physiological characteristics in vitro anthurium plantlets exposed to silicon. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.17, n.1, p.18-24, 2017.<http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332017v17n1a3>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Tamai, K.; Ma, J.F. Reexamination of silicon effects on rice growth and production under field conditions using a low silicon mutant. **Plant Soil**.v.307, p.21-27, 2008.<http://dx.doi.org/10.1007/s11104-008-9571-y>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Pei, Z.F.; Ming, D.F.; Liu, D.; Wan, G.L.; Geng, X.X.; Gong, H.J. Silicon improves the tolerance to water deficit stress induced by polyethylene glycol in wheat (*Triticum aestivum* L.) seedlings. **Journal of Plant Growth Regulation**.v.29, n.1, p.106-115, 2010.<http://dx.doi.org/10.1007/s00344-009-9120-9>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Cuong, T.X.; Ullah, H.; Datta, A.; Hanh, T.C. Effects of silicon-based fertilizer on growth, yield and nutrient uptake of rice in tropical zone of Vietnam. **Rice Science**, v.24, n.5, p.283-290, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2017.06.002>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Detmann, K.C.; Araújo, W.L.; Martins, S.C.; Sanglard, L.M.; Reis, J.V.; Detmann, E.; Damatta, F.M. Silicon nutrition increases grain yield, which, in turn, exerts a feed-forward stimulation of photosynthetic rates via enhanced mesophyll conductance and alters primary metabolism in rice. **New Phytologist**, v.196, n.3, p.752-762, 2012. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2012.04299.x>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Sousa, J.V.; Rodrigues, C.R.; Luz, J.M.Q.; Carvalho, P.C.; Rodrigues, T.M.; Brito, C.H. Silicato de potássio via foliar no milho: fotossíntese, crescimento e produtividade. **Bioscience Journal**, v.26, p.502-513, 2010. <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7148>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Carvalho, M.P.; Júnior, L.A.Z.; Grossi, J.A.S.; Barbosa, G. Silício melhora produção e qualidade do girassol ornamental em vaso. **Ciência Rural**, v.39, n.8, p.2394-2399, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782009005000194>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Campos, C.N.S.; Prado, R.M.; Roque, C.G.; Neto, A.J.L.; Marques, L.J.P.; Chaves, A.P.; Cruz, C.A. Use of silicon in mitigating ammonium toxicity in maize plants. **American Journal of Plant Sciences**, v.6, p.1780-1784, 2015. <http://dx.doi.org/10.4236/ajps.2015.611178>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Souza, L.C.D.; Siqueira, J.A.M.; Silva, J.L.D.S.; Coelho, C.C.R.; Neves, M.G.; Oliveira Neto, C.F.D. Osmorreguladores em plantas de sorgo sob suspensão hídrica e diferentes níveis de silício. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.12, n.3, p.240-249, 2014. <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/417>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Shi, Y.; Wang, Y.; Flowers, T.J.; Gong, H. Silicon decreases chloride transport in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions. **Journal of Plant Physiology**, v.170, n.9, p.847-853, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.01.018>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Hattori, T.; Inanaga, S.; Araki, H.; An, P.; Morita, S.; Luxová, M.; Lux, A. Application of silicon enhanced drought tolerance in *Sorghum bicolor*. **Physiologia Plantarum**, v.123, n.4, p.459-466, 2005. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00481.x>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Kafi, M.; Rahimi, Z. Effect of salinity and silicon on root characteristics, growth, water status, proline contents and ion accumulation of purslane (*Portulacaoleracea* L.). **Soil Science Plant Nutrition**, v.57, p.341-347, 2011. <https://doi.org/10.1080/00380768.2011.567398>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Prado, R.M. **Nutrição de Plantas**. Editora UNESP, São Paulo. 2008. 407p.

Cessa, R.M.A.;Novelino, J.O.; Vitorino, A.C.T.;Mauad, M.Absorção de fósforo e crescimento do Sorgo em função da aplicação de silício e fósforo em Latossolo Vermelho distroférico. **Revista de Ciências Agrárias**,v.34,p.135-142,

2011.http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0871-018X2011000100012&lng=es&nrm=iso. Acessoem: 08 Jan. 2019.

Chagas, R.C.M.;Muraoka, T.;Korndörfer, G.K.;Camargo, M.S. Silicon fertilization improve yield and quality of rice and pearl millet in cerrado soils.**Bioscience Journal**.v.32, p.899-907, 2016.<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/viewFile/32792/18525>. Acessoem: 08 Jan. 2019.

Epstein, E.The anomaly of silicon in plant biology.**Proceedings of the National Academy of Sciences**.v.91, p.11-17.1994. <https://pdfs.semanticscholar.org/db60/bae798268bfa82ac91a434471ea48f8d99f2.pdf>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Epstein, E. Silicon: its manifold roles in plants. **Annals of Applied Biology**.v.155, p.155-160, 2009.<https://ggha.ucdavis.edu/Seminars/SSC290.W10.paper.pdf>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Fonseca, I.M.; Prado, R.M.; Vidal, A.A.; Nogueira, T.A.R. Efeito daescória, calcário e nitrogênio na absorção de silício e na produção do capim marandu.**Bragantia**,v.68, n.1, p.221-232, 2009. <http://www.scielo.br/pdf/brag/v68n1/a24v68n1.pdf>. Acesso em: Acesso em: 08 Jan. 2019.

Freitas, L.B.; Coelho, E.M.; Maia, S.C.M.; Silva, T.R.B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**. v.58, n.2,p.262-267, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S0034-737X2011000200020>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Gao, X.;Zou, C.; Wang, L.; Zhang, F. Silicon decreases transpiration rate and conductance from stomata of maize plants.**Journal of Plant Nutrition**,v.29, n.9, p.1637-1647, 2006. <https://doi.org/10.1080/01904160600851494>. Acessoem: 08 Jan. 2019.

Gong,H.J.; Chen, K.M.; Chen, G.C.; Wang, S.M.; Zhang, C.L. Effects of silicon on growth of wheat under drought. **Journal of Plant Nutrition**,v.26,n.5, p.1055-1063, 2003.<https://doi.org/10.1081/PLN-120020075>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Hermann, E.R.; Câmara, G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar da cana-de-açúcar. **Revista da STAB**,v.17,p.32-34, 1999. https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4287002/mod_folder/content/0/Biometria/STAB%20maiju

[n99%2017%205%20Metodo%20Estim%20IAF%20Hermann%20%20C%C3%A2mara.pdf?force_download=1](#). Acesso em: 08 Jan. 2019.

IBGE. 2017.**Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: [http://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[men_sall/Fasciculo/2017/lspa_201701.pdf](http://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[men_sall/Fasciculo/2017/lspa_201701.pdf). Acesso em: 08 Jan. 2019.

Jones, L.H.P.; Hendrick, K.A. Silica in soils, plants and animals.**Advances in Agronomy**,v.19, p.107-149, 1967.[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60734-8](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60734-8). Acesso em: 08 Jan. 2019.

Kamenidou S.,Cavins, T.J., Marek, S. Silicon supplements affect horticultural traits of greenhouse-produced ornamental sunflowers. **HortScience**,v.43,p.236-239, 2008. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.1.236>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Korndörfer, G.H.**Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. Instituto de Ciências Agrárias: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 34p.

Ma, J.F.;Yamaji, N. Siliconuptakeandaccumulation in higherplants.**Trends in Plant Science**,v.11, p.392-397, 2006.<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2006.06.007>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Malavolta, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Agronômica Ceres,Viçosa, 2006. 638p.

Meena, V.D.;Rajendiran, S.;Dotaniya, M.L.;Kundu, A.S.;Coumar, V.; Rao, A.S. A case for siliconfertilizationto improve cropyields in tropical soils. **Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences**,v.84, v.3, p.505-518, 2014. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40011-013-0270-y>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Moraes, W.B.;Jesus Junior, W.C.; Moraes, W.B.;Araújo, G.L.; Souza, A.F.; Silva, M.V. de. 2011. Aplicação de silicato de potássio e crescimento foliar da cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciências Agrária**,v.6,n.1, p.59-64.<https://doi.org/10.5039/agraria.v6i1a902>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Pereira, H.S.;Korndörfer, G.H.; Vidal, A.A.; Camargo, M.S.Siliconsources for ricecrop.**Scientia Agrícola**,v.61, n.5,p.522-528, 2004. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162004000500010>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Ramos, L.A.;Korndörfer, G.H.;Nolla,A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistemade várzea submetido à aplicação de diferentes fontes.**Bragantia**,v.67,n.3, p.751-757, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052008000300025>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Ribeiro, R.V.; Silva, L.D.; Ramos, R.A.; Andrade, C.A.D., Zambrosi, F.C.B.; Pereira, S.P. O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.939-948, 2011. <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v35n3/v35n3a28.pdf>. Acesso em: 08 Jan. 2019.

Santos, H.G.; Jacomine, P.K.T.; Anjos, L.H.C.; Oliveira, V.A.; Lumbreras, J.F.; Coelho, M.R.; Almeida, J.A.; Cunha, T.J.F.; Oliveira, J.B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Embrapa, Brasília, 2013. 353p.

Souza, D.M.G.; Lobato, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Embrapa Cerrados, Brasília, 2004. 416p.

Zanetti, L.V.; Milanez, C.R.D.; Gama, V.N.; Aguilar, M.A.G.; Souza, C.A.S.; Compostrini, E.; Ferraz, T.M.; Figueiredo, F.A.M.M.A. Leaf application of silicon in young cacao plants subjected to water deficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.51, n.3, p.215-223, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2016000300003>. Acesso em: 08 Jan. 2019.