



FÁBIO TAVARES REIS NETO

**USO DO PÓ DE ROCHA COMO FONTE ALTERNATIVA
DE NUTRIENTES NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-
AÇÚCAR**

**LAVRAS
2021**

FÁBIO TAVARES REIS NETO

**USO DO PÓ DE ROCHA COMO FONTE ALTERNATIVA DE NUTRIENTES
NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel
Orientador

M.e Sérgio Hebron Maia Godinho
Coorientador

**LAVRAS
2021**

FÁBIO TAVARES REIS NETO

**USO DO PÓ DE ROCHA COMO FONTE ALTERNATIVA DE NUTRIENTES
NA PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR**

**USE OF ROCK DUST AS AN ALTERNATIVE SOURCE OF NUTRIENTS IN
SUGARCANE CROP**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Agronomia, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em 29 de outubro de 2021.

M.^a Inara Alves Martins

UFLA

M.e Jefferson Henrique Santos Silva

UFLA

Prof.^a Dr.a Francielle Roberta Dias de Lima

UFLA

Prof. Dr. Guilherme Vieira Pimentel
Orientador

M.e Sérgio Hebron Maia Godinho
Coorientador

**LAVRAS
2021**

AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Lavras, pública e gratuita, ao Programa de Agronomia, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao professor Guilherme Vieira Pimentel, pela ajuda no decorrer do trabalho, importante contribuição a minha formação profissional.

Ao professor Sérgio Hebron Maia Godinho, pela orientação e amizade, muito importante para minha formação acadêmica.

Aos professores que ministraram as aulas no decorrer do curso, pelo ensinamento e disponibilidade de tempo sempre que necessário.

À minha mãe Cláudia e meu pai Marciano, por ter me proporcionado todos os meus estudos, sem vocês eu jamais teria conseguido.

À minha irmã Letícia e meu padrasto Edvar, pelo apoio.

Ao meu amigo Venícius Urbano, por todo apoio e ajuda nesses anos de graduação.

Aos colegas e amigos da República Cistema Hantigo pela ajuda e parceria em todos os momentos, além da grande amizade.

A todo que, de uma ou outra maneira, colaboraram para que o trabalho chegasse ao seu fim.

RESUMO

A cana-de-açúcar é considerada planta acumuladora de silício, e o fornecimento do mesmo contribui com aspectos bastante positivos à cultura. O pó-de-rocha (oriundo da ardósia) apresenta-se como boa opção por fornecer o silício e outros nutrientes, e, além de ser alternativa nutricional, também favorece a aceleração dos processos de sucessão e dinamização biológica nos solos. Nesse contexto, objetivou-se com o trabalho avaliar o efeito de diferentes doses do pó-de-rocha sobre a produtividade na cultura da cana-de-açúcar. O experimento foi instalado na cachaçaria Bocaina, no município de Lavras-MG, com a variedade RB867515, cana soca, em delineamento de blocos casualizados (DBC). Os tratamentos foram constituídos do controle e as doses de 2, 4, 6, 8 e 10 toneladas/ha de pó-de-rocha, com quatro repetições. As parcelas eram constituídas de quatro linhas espaçadas em 1,3 metro, por seis metros de comprimento, totalizando 31,2 m². A aplicação dos tratamentos foi feita na linha da cultura. Foi determinada a produção de colmos por hectare (TCH) pela contagem de colmos da área útil da parcela, o corte e a pesagem de dez colmos industrializáveis. Também foi feita a análise foliar (folha +3) de nutrientes aos seis meses após a aplicação dos tratamentos. Em decorrência da colheita, foi realizada amostragem de solo (0 a 20 cm) em todas as parcelas. Após a tabulação dos dados, foi realizada análise estatística através do programa estatístico Sisvar®. Não houve diferenças significativas para produtividade sob qualquer das doses aplicadas, tendo em todos os casos, se alcançado uma média geral de 72 toneladas por hectare. Quanto à análise dos valores de nutrientes nas folhas, não houve diferenças entre os tratamentos. Na análise de solo, apenas foram observadas diferenças significativas para os valores de ferro (Fe) e cobre (Cu). Diante dos resultados, o pó-de-rocha oriundo de ardósia não proporcionou incrementos nutricionais e tampouco produtivos à cana soca com a variedade RB867515.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*; Rochagem; Nutrição mineral; Pó de ardósia.

ABSTRACT

Sugarcane is considered an accumulating plant for the silicon, and its supply contributes with very positive aspects to the crop. Rock dust (coming from slate) is a good option for providing silicon and other nutrients and in addition to being a nutritional alternative, it also favors the acceleration of the processes of succession and biological dynamization in soils. In this context, the aim of the study was to evaluate the effect of different doses of rock dust on the productivity of sugarcane. The experiment was installed in the cachaçaria Bocaina, in the municipality of Lavras-MG, with the variety RB867515, ratoon cane in a randomized block design (DBC). The treatments consisted of control and doses of 2, 4, 6, 8 and 10 tons/ha of rock dust, with four replications. The plots consisted of four lines spaced 1,3 meters apart by six meters in length, totaling 31.2 m². Treatments were applied in the crop line. The stalk production per hectare was determined by counting the stalks of the useful area of the plot, cutting and weighing ten industrializable stalks. Leaf analysis (leaf +3) of nutrients was also carried out six months after the application of treatments. As a result of the harvest, soil sampling (0 to 20 cm) was performed in all plots. After tabulating the data, statistical analysis was performed using the Sisvar® statistical program. There were no significant differences for productivity under any of the applied doses, having in all cases, an overall average of 72 tons per hectare was reached. As for the analysis of nutrient values in leaves, there were no differences between treatments. In the soil analysis, only significant differences were observed for the Iron (Fe) and Copper (Cu) values. In view of the results, the rock powder from slate did not provide nutritional or productive increments for the ratoon cane with the variety RB867515.

Keywords: *Saccharum spp.*; Rocking; Mineral nutrition; Slate powder.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Aplicação do pó de rocha na linha da cultura para cada tratamento.....	22
Figura 2 - Médias de produtividade da cana-de-açúcar, em função da aplicação de doses de pó de rocha.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química média (porcentagem em peso) de ardósia.	18
Tabela 2 - Análise do solo antes da implantação da cultura	20
Tabela 3 - Resultado físico-químico da remineralização do pó de ardósia.....	21
Tabela 4 - Propriedades químicas do solo após a colheita da cana-de-açúcar, em função dos tratamentos com pó de rocha.....	24
Tabela 5 – Teor de nutrientes foliar na cana-de-açúcar, em função do tratamento com pó de rocha.	27
Tabela 6 – Médias de produtividade da cultura da cana-de-açúcar em relação as doses de pó de rocha.....	28

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 A cultura da cana-de-açúcar.....	12
2.2 Silício no solo	13
2.3 Importância do silício para as plantas.....	15
2.4 Silício na cultura da cana-de-açúcar	16
2.5 Pó de ardósia como fonte de silício e nutrientes.....	17
3 MATERIAL E MÉTODOS	20
3.1 Análise do solo antes da implantação	20
3.2 Caracterização da fonte de silício	20
3.3 Instalação.....	21
3.4 Delineamento experimental	21
3.5 Análises estatísticas	22
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 Teores de nutrientes no solo.....	23
4.2 Concentração foliar.....	26
4.3 Produção de colmos (TCH).....	28
5 CONCLUSÃO.....	31

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é considerado o maior produtor de cana-de-açúcar e o maior exportador de açúcar do mundo, contando esta como uma das culturas de maior importância para o agronegócio nacional. Com o crescimento da procura mundial por etanol vindo da conscientização mundial sobre o meio ambiente e os efeitos prejudiciais no uso de combustíveis fósseis, associado com as enormes áreas de cultivo e pela condição edafoclimática que favorece a cana-de-açúcar, faz com que o Brasil se torne um país favorável para o cultivo e produção dessa *commodity*. Com isso, a cana-de-açúcar é vista como uma das melhores alternativas para o âmbito de biocombustíveis, pois apresenta excelente potencial de produção de etanol e seus coprodutos. Além da produção de açúcar e etanol, as unidades de produção vêm se esforçando para operar com mais eficiência, possibilitando o seu uso para geração de energia elétrica, contribuindo na diminuição de custos e colaborando para a sustentabilidade dessa atividade (CONAB, 2020).

A cana-de-açúcar é apontada como uma das culturas de maior importância mundial, por ser fonte de etanol, açúcar e energia. Essa gramínea é cultivada em mais de 100 países, porém em torno de 80% da produção está concentrada em dez: Brasil, Índia, China, Tailândia, Paquistão, México, Colômbia, Austrália, Guatemala, Estados Unidos, Indonésia e Filipinas (WORDATLAS, 2020).

Mesmo essa cultura tendo uma grande importância no setor econômico, no Brasil a área de plantio representa apenas 14,5% da área ocupada pela produção de grãos, onde a área de grãos da safra 2019/20 foi igual a 68,5 milhões de hectares e a cana-de-açúcar ocupou somente em torno de 10 milhões de hectares (CONAB, 2020).

Uma das maneiras para se conseguir a sustentabilidade de um sistema produtivo, no caso a cana-de-açúcar, é fazer com que a cultura se torne tolerante a prováveis estresses abióticos e bióticos, que afetarão e reduzirão, muitas vezes em grandes proporções, as características de qualidade da produção. Portanto, é necessário a utilização de alternativas disponíveis, como a adubação dessas culturas com silício (Si), um elemento que é encontrado em abundância na litosfera e que é absorvido em quantidades elevadas pela cultura de cana. É possível observar a adubação silicatada como uma estratégia do denominado manejo integrado de doenças e pragas, cuja o qual não se trata somente de métodos químicos de controles dos agentes.

Além disso, é possível que os efeitos negativos que são oriundos de possíveis estresses hídricos ou térmicos sejam amenizados quando ocorre acúmulo ou concentração de Si em vários segmentos da planta, com ajuda do aproveitamento de alguns recursos

como luz e água que possivelmente ocorrem em resposta da utilização de Si (PEREIRA et al., 2003). Outra vantagem da utilização do Si na agricultura se dá através da atividade industrial e, por conseguinte, em passivos ambientais que por sua vez, em situação de não utilização ou de uso incorretos configuram graves problemas ambientais para as indústrias de diversos setores produção.

O pó de rocha ou pó de ardósia é rico em silício (62,3%) e apresenta percentual significativo de potássio (K) (35,5%), cálcio (Ca) (27,8%) e magnésio (Mg) (11,7%), por isso é bastante utilizado na agricultura como remineralizador de solos, por meio de um processo chamado rochagem (CHIODI FILHO, 2003). Segundo Khatouniani (2001), o método para diminuir tempo desse processo e favorecer a liberação dos nutrientes seria aplicar o pó de rocha em sua forma moída, como pó fino. De acordo Almeida (2007) o pó de rocha é usado no intuito de acelerar os processos de sucessão e dinamização biológica nos solos e não como fontes de nutrientes que serão diretamente absorvidas pelas plantas cultivadas. Não se trata, portanto, de um sistema de substituição de insumos (adubo químico por pó de rocha), mas de uma mudança de concepção sobre o manejo da fertilidade do agro ecossistema. Uma das principais estratégias de manejo utilizada é a associação do uso de pó de rocha com diferentes fontes de biomassa, em especial gramíneas, sendo a cana-de-açúcar considerada uma planta acumuladora de silício, podendo absorver grandes quantidades, superiores as de N e K, além de favorecer a resistência contra pragas e ao déficit hídrico.

O pó de ardósia é um fertilizante ainda pouco estudado, mas possui um grande potencial de uso principalmente dentro do sistema de produção, uma alternativa bastante viável para o aproveitamento de parte dessas escórias acumuladas pela indústria siderúrgica para uso na agricultura como fonte de silício. Diante desse contexto, objetivou-se com esse trabalho avaliar o efeito de doses de pó-de-rocha na disponibilidade de nutrientes e produtividade da cana-de-açúcar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das mais importantes culturas agrícolas do Brasil, sendo que o país se encontra no primeiro lugar do *ranking* mundial de produção, evidenciando a relevância para o agronegócio nacional em oferecer matéria prima bastante flexível (UNICA, 2006; CONAB, 2020). Em relação a produção, a safra 2020/21 atingiu 665,105 milhões de toneladas, que representa um crescimento de 3,5% sobre as 590,36 milhões de toneladas registradas na temporada 2019/20. A estimativa de produtividade para a safra 2021/22 é de 592 milhões de toneladas, o que representa uma queda de 9,5% como consequência dos efeitos climáticos adversos da estiagem durante o ciclo produtivo das lavouras e as baixas temperaturas registradas em junho e julho de 2021, principalmente nos estados de Mato Grosso do Sul e São Paulo (CONAB, 2021).

Além de ser considerada como uma importante fonte de alimento para os animais, por causa da produção de açúcar, a cana-de-açúcar é responsável por produzir diferentes tipos de álcoois, por exemplo o etanol que é utilizado em bebidas como licor, cachaça, rum, além de ser usado como biocombustível e também gera energia elétrica com o uso do bagaço. É possível utilizar tudo da cana-de-açúcar, como os resíduos de colheita, méis, torta e bagaço (UNIÃO DA AGROINDUSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO, 2006).

A determinação do ambiente de produção de cana-de-açúcar é dada pelas condições hídricas, químicas, mineralógica, físicas e morfológicas dos solos e de acordo com o manejo apropriado da camada areável associado ao preparo, adubação, torta de palha e filtro, adição de vinhaça e controle de ervas daninhas em relação ao clima regional (temperatura, evaporação, precipitação pluviométrica, radiação solar etc.) e a subsuperfície dos solos além da ocorrência de grau de declividade presente na paisagem (DINARDO-MIRANDA et al., 2008).

Para a produção de 100 t ha⁻¹ de colmos é preciso que haja extração de nutrientes que a cana-de-açúcar precisa na ordem de 43 kg de P₂O₅, 44 kg de S, 49 kg de Mg, 87 kg de Ca, 143 kg de N e 210 kg de K₂O. Em relação aos micronutrientes é preciso 2,5 g de Mn, 7,3 g de Fe, 235 g de B, 339 g de Cu e 592 g de Zn (ORLANDO FILHO, 1993). A variação das quantidades de nutrientes que são extraídas do solo através da cana-de-açúcar se dá pela variedade, métodos de cultivo, disponibilidade de nutrientes no solo e tipo de solo buscando determinar faixas de teores de nutrientes apropriados para a cultura.

Em diversas pesquisas é relatado que a extração dos nutrientes é determinada na ordem crescente de macronutrientes $P < S < Mg < Ca < N < K$ (MAEDA, 2009).

A adubação é uma técnica que afeta na qualidade da cana-de-açúcar em várias maneiras (KORNDÖRFER, 1994). A adubação fosfatada está associada com o crescimento da produção, além de contribuir de forma considerável no crescimento do teor de P_2O_5 no caldo, o que melhora o processo de clarificação da planta. Já a adubação nitrogenada está relacionada a um aumento no crescimento vegetativo e, conseqüentemente, em maiores umidades na cana, além da possibilidade de diminuir o teor de sacarose presente nos colmos.

Por sua vez, o potássio se destaca por se o nutriente que é mais é exportado em quantidade por essa gramínea. Além de atuar no metabolismo da planta ativando diversas enzimas, influência na qualidade, exercendo funções importantes no fechamento e abertura dos estômatos e está associado com a integração de fotofosforilação e gás carbônico (FIGUEIREDO, 2006).

Com isso, a nutrição apropriada da cana-de-açúcar é uma técnica reconhecida e comprovada, consistindo em uma das principais praticas responsáveis pelo aumento de produtividade da cultura. Levando em consideração que os adubo minerais são os mais utilizados para fornecer nutrientes e por corresponderem a maior parte dos custos de produção, torna-se pertinente encontrar alternativas para as unidades de produção.

2.2 Silício no solo

Depois do oxigênio, o elemento mais abundante na crosta terrestre é o Silício (Si), com um teor médio de aproximadamente 28,8% (peso) (McKEAGUE; CLINE, 1963; WEDEPOHL, 1995; KONDÖRFER, 2006).

Ao mesmo tempo que a maior parte dos solos são muito abundantes em Si, outros tipos apresentam níveis baixos do elemento, especialmente no aspecto de fornecimento para as plantas. Estes tipos de solos são constituídos por Argissolos e Latossolos, que normalmente são determinados como lixiviados, altamente intemperizados, pobres em saturação por bases e ácidos, e os Organossolos que apresentam níveis baixos de teores de minerais e níveis elevados de matérias orgânicas (SNYDER et al., 1986; FOY, 1992). Além do mais, os solos que são predominantemente compostos por areia e aqueles que são usados na produção agrícola por muito tempo, rapidamente perdem quantidades substanciais de Si e, geralmente, ficam com níveis baixos de nutrientes para fornecer às plantas (KONDÖRFER, 2006; DATNOFF et al., 1997).

O Si normalmente se divide em três diferentes frações nos solos: a fase sólida, adsorvida e líquida (MATICHENCOV; BOCHARNIKOVA, 2001; SAUER et al., 2006). A fase sólida se divide em três grupos fundamentais: as formas amorfas, as formas não muito cristalinas e microcristalinas e as formas cristalinas. A maior parte do Si na fase sólida é constituída pelas formas cristalinas onde acontecem, especialmente, os silicatos primários e secundários que são encontrados em altos níveis em solos minerais que foram formados por sedimentos e solos (ILER, 1979; CONLEY et al., 2006).

A relevância dessa fase de Si no solo se refere a solubilidade de várias formas do elemento presente na forma sólida, afetando de maneiras consideráveis a concentração de Si na solução do solo (TUBAÑA; HECKMAN, 2015). Os componentes de Si presentes nas fases adsorvida e líquida são equivalentes, exceto dos que se encontram na fase líquida que estão dissolvidos na solução do solo, ao mesmo tempo que os adsorvidos ficam presos nas partículas do solo e nos óxidos e hidróxido de Al e Fe (TUBAÑA; HECKMAN, 2015).

A adsorção do ácido silícico que se encontra na solução do solo acontece em diversas e diferentes partículas do solo, inclusive em hidróxidos de Al e Fe e em argilas e também nos minerais de argilas secundários que, quando adsorvem Si, ocasionam redução mínima na concentração do elemento em solução (SIEVER; WOODFORD, 1973; HANSEN et al., 1994; DIETZEL, 2002). Já os hidróxidos de Al e Fe apresentam uma forte capacidade de adsorção, sendo possível fazer remoção através da solução do solo em quantidades consideráveis de Si dissolvido (BECKWITH; REEVE, 1963; McKEAGUE; CLINE, 1963; CORNEEL; SCHWERTMANN, 1996). A adsorção do Si através de óxidos é impulsionada por fatores como o potencial redox, pH e o tipo de metal, seja Fe ou Al, que se encontra no solo.

Na solução do solo, ou na fase líquida, o Si se encontra em diferentes formas e dá-se como monomérica (H_4SiO_4 como forma biodisponível para as plantas), ácido polisilícico e ácido oligomérico, ou seja, a fase líquida de Si constitui-se de H_4SiO_4 e das formas complexadas e polimerizada de ácido silícico (ILER, 1979). Em relação a números, a concentração de Si muda de 0,09 a 93,4 $mg\ dm^{-3}$ (VOLKOVA, 1980; KODVA, 1985).

O ácido monossilícico (H_4SiO_4) é uma das formas absorvidas pelas plantas e não apresenta cargas, onde, depois da absorção, armazenada dentro dos tecidos das plantas como sílica polimerizada, o que o torna como um nutriente importante para a nutrição da planta. Os complexos que são gerados pelo ácido silícico são parte do ácido e compostos

inorgânicos e orgânicos que se encontram na solução do solo, já o ácido polissilícico ajuda na agregação do solo por meio de ligações que possibilita que as partículas do solo melhorem a capacidade de retenção de água e agregação, principalmente em solos que apresentam texturas leve (NORTON, 1984; TUBAÑA; HECKMAN, 2015).

A solubilidade de minerais e a quantidade de H_4SiO_4 é alterada por fatores como potencial redox do solo, temperatura, pH, teor de matéria orgânica e água e tamanho das partículas (SAVANT et al., 1997). Geralmente o pH faz a regularização da mobilidade e solubilidade do Si, onde H_4SiO_4 é a forma mais encontrada em solos que apresentam valores de pH menores que 8, onde são dissociados em $H^+ + H_3SiO_4^-$ para valores de pH superior a 9 ou então em $2H^+ + H_2SiO_4^{2-}$ para valores de pH superior a 11 (ILER, 1979; TUBAÑA. HECKMAN, 2015). Os processos de adsorção-dessorção prejudicam a concentração de H_4SiO_4 na solução do solo e são muito dependentes do pH, onde o limite da adsorção de H_4SiO_4 se encontra entre pH 9 a 10. De acordo com Panov (1982) e Allmaras et al. (1991), o efeito do pH em relação a disponibilidade do Si no solo também é analisado com a aplicação de fertilizantes que formam acidez fazendo com que aumente a concentração de H_4SiO_4 na solução do solo, o teor de matéria orgânica, gerando uma diminuição na mobilidade e concentração de H_4SiO_4 .

Diversos estudos comprovaram influências positivas de Si na dinâmica com os demais nutrientes presente no solo. De acordo com Tokunaga (1991), as perdas de K e outros nutrientes por meio de lixiviação diminuíram com o uso de Si, fazendo com que os nutrientes permanecessem disponíveis no solo com cargas positivas para serem absorvidos na superfície que continha Si. O uso de Si também ajuda na redução da disponibilidade de alguns elementos que se encontram no solo, como nutrientes tóxicos e/ou metais pesados (CHEN et al., 2000; GU et al., 2011).

2.3 Importância do silício para as plantas

O silício é um elemento benéfico para as plantas, além de apresentar características importantes para o crescimento e produção, assim como melhoramento das condições físico-químicas, químicas e físicas, contribuindo de forma direta na nutrição da planta fazendo com que favoreça resistência a pragas (MALAVOLTA, 2006). Mesmo o silício não sendo o nutriente mais importante para o crescimento e desenvolvimento de culturas, ele é bastante usado com o objetivo de proporcionar resistência contra doenças e pragas em plantas (SILVA, 2009).

O efeito benéfico do Si está relacionado a vários efeitos indiretos, onde se destaca o uso da energia solar e o aumento da eficiência de aproveitamento, o que gera uma redução da transpiração, aumento da capacidade de fotossíntese, aumento da resistência da planta a doenças e alguns insetos, aumento da resistência mecânica das células e redução de acúmulo de Mn, Fe e Al junto com alguns metais pesados, produzindo plantas mais eretas, aumento da absorção e metabolismo de alguns elementos como P (SANDIM et al., 2010). Associado a isso, a ação do silício em planta ajuda na redução dos efeitos tóxicos causados por Al resultado de uma menor absorção (LIMA FILHO et al., 1999).

A absorção do Si acontece através das raízes por meio de ácido monossilícico, sendo por processo passivo ou ativo, por meio de transportadores de membrana específicas para o processo (RODRIGUES et al., 2011). Dessa maneira, os autores ainda apontam que, depois da adsorção o transporte é realizado via xilema e são regulados pelo processo ativo ou pela transpiração.

2.4 Silício na cultura da cana-de-açúcar

Segundo Guntzer et al. (2012), sete das dez culturas que mais são produzidas no mundo acumulam Si, incluindo arroz, trigo, milho, beterraba sacarina e a cana-de-açúcar, onde pode ser encontrados até 6,7% de Si acumulado nas folhas secas e colmos da cana-de-açúcar (KORNDÖRFER; DATNOFF, 1995).

O Si que se encontra nas plantas está em forma de sílica amorfa hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) e somente uma pequena parcela de aproximadamente 1% se encontra em forma iônica (TAKAHASHI, 1996). Nas folhas, O Si se encontra acumulado abaixo das cutículas criando uma camada de sílica que ajuda no fortalecimento da estrutura da planta, diminuindo perdas de água, além de deixar as folhas mais eretas, o que contribui em uma melhoria de aproveitamento de luz solar e, por consequência, um melhor aproveitamento fotossintético e de produção (TAKAHASHI, 1995; KORNDÖRFER et al., 2002; DEREN et al., 1994; PEREIRA et al., 2003).

Mesmo que o Si não seja classificado como um elemento essencial para as plantas, é o elemento que mais é absorvido pela cana-de-açúcar depois do N e K, seguido depois de Ca e Mg (DATNOFF et al., 2001). Essa mesma associação é vista nos acúmulos de nutrientes, onde o Si chega até 380 kg ha^{-1} na parte área, ao mesmo tempo que P, K e N tem quantidades de acúmulos de, respectivamente, 20, 180 e 140 kg ha^{-1} em 12 meses de idade (SAMUELS, 1969). Ainda é possível que o acúmulo de Si seja maior em relação a

produtividade esperada, por exemplo, para uma produtividade estimada de 74 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar, Ross et al. (1974) obtiveram remoção de 408 kg ha⁻¹ de Si.

Vale ressaltar que se encontram uma enorme variabilidade genética em relação a capacidade das diversidades de cana-de-açúcar em acumular Si, além dos teores foliar particular que cada variedade contém (DEREN et al., 1993; CAMARGO et al., 2010).

A maior parcela de acúmulo de Si associado aos demais nutrientes indica que o nutriente tem uma importante função morfológica e fisiológica, além do efeito já citado do crescimento da capacidade fotossintética, já que a planta apresenta melhoras em sua arquitetura, o que se confirma uma melhor interceptação da radiação solar. O acúmulo de Si também favorece a resistência a estresses hídricos e redução de danos gerados por doenças e pragas (SAMUELS, 1969; KORNDÖRFER et al., 2002).

Os efeitos positivos do acúmulo de Si na cultura de cana-de-açúcar determinam que é possível aumentar a produtividade por meio de adubação silicatada, como foi observado em cana soca, de acordo com Camargo (2014), que propôs o uso de Si na adubação dessa cultura no intuito de segurar a sustentabilidade da produção (KORNDÖRFER et al., 2002).

Os resultados mostrados em diversos estudos afirmam um aumento na produtividade da cultura em relação a adubação com silicatos não somente no Brasil, mas em países como Austrália, Estados Unidos, Maurício e África do Sul que vêm adotando essa técnica para aumentar a produtividade na soqueira e na cana-planta, além de aumentar consideravelmente a síntese do açúcar (CAMARGO, 2014; FOLTRAN, 2013).

É possível usar adubação com Si como substituto parcial ou total a aplicação de calcário, no entanto, caso o solo já apresente correção, a quantidade de adubo aplicado não pode ultrapassar a 800 kg ha⁻¹ de silicato, pois a maioria das fontes de Si usado apresentam ação corretiva de acidez do solo maiores que essa (KORNDÖRFER et al., 2003). Contudo, é possível que haja necessidade de fornecimentos desse nutriente em canaviais já adulto e não somente em implantação, por ser classificado como pouco móvel na planta, para isso é preciso fazer aplicação foliar (DATNOFF et al., 2001).

2.5 Pó de ardósia como fonte de silício e nutrientes

É possível usar como fonte de Si alguns resíduos de plantas quando incorporados ao solo. Diversos materiais como bagaço de cana-de-açúcar ou casca de arroz têm concentração de Si relevantes e a utilização em altas doses no campo fornece Si. De acordo com Tubaña e Heckman (2015) podem ser usados como fontes de Si biochar,

palha e casca de arroz, lamas e cimentos oriundos de diversos processos, cinzas, e pó-de-rocha ou pó de ardósia.

O pó de ardósia é classificado com um subproduto formado através de corte extração da ardósia. Por sua vez, a ardósia é determinada como uma rocha sílico-argilosa bastante usada no ramo da construção civil como material de decoração e revestimento (CHIODI FILHO, 2004). O resíduo da ardósia é um material particulado, com dimensões micrométricas e vem se destacando como uma nova alternativa como remineralizador de solo para uso na agricultura (GASCHO, 2001).

O pó de ardósia é oriundo do corte e acabamento da rocha, o que forma um material particulado extremamente fino com diferentes tamanhos que vão de 1 µm a 10 µm (ASTM, 2000). A composição química do material é composta pelos quatros minerais principais que constituem uma rocha comporta: a mica branca, o quartzo, os feldspatos e o silicatos de alumínio. Observa-se na Tabela 1 os dados químicos médios para alguns tipos de ardósia presente no mercado.

Tabela 1 - Composição química média (porcentagem em peso) de ardósia.

	Ardósia			
	Preta	Cinza	Verde	Roxa
SiO₂	60,95	62,85	64,45	61,20
TiO₂	0,74	0,79	0,85	0,84
Al₂O₃	15,97	15,47	15,40	16,60
Fe₂O₃	1,80	1,86	2,30	4,50
FeO	4,82	4,57	4,35	3,00
MnO	0,10	0,11	0,12	0,12
MgO	3,07	2,82	2,65	2,70
CaO	1,62	1,16	0,35	0,37
Na₂O	1,70	1,72	1,50	1,20
K₂O	3,67	3,77	3,85	5,10
H₂O⁺	3,28	2,97	2,9	3,30
CO₂	1,27	0,91	0,27	0,29
P₂O₅	0,16	0,16	0,14	0,12
C	0,47	0,28	0,07	0,11
Total (%)	99,92	99,44	99,29	99,45
-	-	-	-	-
Na₂O/K₂O	0,46	0,46	0,39	0,23
Al₂O₃/Na₂O	9,39	8,99	10,27	13,83
FeO/Fe₂O₃	2,68	2,46	1,89	0,67

Fonte: Adaptado de Chiodi Filho, 2003.

O material particulado é armazenado pelas empresas de beneficiamento e antes de serem usados no campo, são feitos diversos processos de tratamento para uniformizar o

tamanho das partículas e remover impurezas. O pó de ardósia é determinado na agricultura como um produto remineralizador, atuando como condicionador do solo, fazendo a disponibilização gradual de nutrientes, gerando melhorias, microbiológicas, físicas e químicas do solo (GASCHO, 2001).

Uma técnica agrícola bastante usada que se dá pelo uso de materiais naturais oriundo de processos mecânicos é a rochagem, usada para melhorar a qualidade física e química do solo. Essa técnica fornece material particulado de vários tamanhos, incluindo o pó de ardósia. Normalmente, se usa com o intuito de aumentar a superfície de contato das partículas presente na rocha com as raízes e microrganismos, que ocorra a solubilização dos nutrientes e assim, disponibilizar para as plantas.

De maneira geral, os nutrientes que constituem o pó de ardósia apresentam concentrações de nutrientes mais baixa, exceto o silício. No entanto, em termos de quantidade e composição química de Si que são disponibilizados para as plantas que se encontram nessa fonte, são observados valores variáveis e essa distinção está relacionada com o processo de tratamento de remoção de impurezas e ao tamanho final do grânulo do material (DATNOFF et al., 2001; MA; TAKAHASHI, 2002).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Análise do solo antes da implantação

Antes da implantação da cultura de cana-de-açúcar foi realizado a análise do solo. A análise do solo deve ser feita para indicar a quantidade de nutrientes minerais, essenciais ao desenvolvimento da cana.

A análise foi realizada no Laboratório de Análises de Solo no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, e os resultados se encontram na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise do solo antes da implantação da cultura

Classificação do solo	Argila	Silte	Areia
	-----dag/Kg-----		
Solo Tipo 3	57	35	8
Solo Tipo 3	59	33	8

Solo Tipo 3: Textura Argila

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

3.2 Caracterização da fonte de silício

Para esse estudo foi utilizada somente uma fonte de Si: ardósia pulverizada. O material foi cedido pela empresa Micapel – Mineração Capão das Pedras Ltda localizada em Pitangui – MG, retirada da jazida Pitangui Banca. Para fazer o uso da ardósia pulverizada foi preciso realizar a remineralização do material a fim de conhecer os nutrientes presentes na fonte de Si, e o resultado encontra-se na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultado físico-químico da remineralização do pó de ardósia.

	Ardósia pulverizada	
	Resultado	Unidade
K₂O	4,39	%
CaO	1,08	%
MgO	3,94	%
SiO₂	3,4	%
P₂O₅	<1	%
Si	39,4	%
B	<0,1	%
Zn	<0,05	%
Cu	<0,05	%
Fe	5,63	%
Mn	0,09	%
Mo	<0,01	%
Co	18,4	%
Ni	16,5	%
Se	<0,2	%
Cl	<0,1	%
As	13	%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

O certificado de análise de remineralizador foi feito pelo Centro de Tecnologia Agrícola e Ambiental (CAMPO).

3.3 Instalação

O experimento foi instalado no município de Lavras – MG em parceria com a empresa Bocaina Agroindústria e Comércio de Cachaça LTDA, que já tem um campo de produção de cana-de-açúcar, localizado na rodovia BR – 265 km 349, a 920 metros de altitude, sob coordenadas 21° 14' S e 45° 00' W.

O clima do município de Lavras, de acordo com a classificação climática de Köppen, é determinado como Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico) com verão chuvoso e inverno seco, subtropical e temperatura mais quentes maiores que 22 °C. A região tem média anual de precipitação pluvial de 1.493,2 milímetros e temperatura média de 19,3 °C (DANTAS et al., 2007).

3.4 Delineamento experimental

O delineamento adotado foi em blocos casualizados (DBC), sendo os tratamentos doses de pó de rocha: 0, 2, 4, 6, 8 e 10 toneladas por hectare, baseados em doses recomendadas pela empresa, totalizando seis tratamentos com quatro repetições cada. As parcelas apresentavam dimensão de quatro linhas (espaçadas de 1,3 m) por seis metros

de comprimento, totalizando 31,2 m². A aplicação do pó de rocha foi feita na linha da cultura para cada tratamento. A variedade cultivada era a RB867515.

Figura 1 – Aplicação do pó de rocha na linha da cultura para cada tratamento.



Fonte: Própria do autor, 2021.

A produção de colmos por hectare (TCH) de cana-de-açúcar foi definida contando-se o número de colmos da área útil da parcela, cortando-se dez colmos industrializáveis por parcela, pesando-se e calculando-se a produtividade em tonelada de cana por hectare. A análise foliar foi feita de acordo com a metodologia de Malavolta (1992) e foi realizada fazendo a coleta da folha+3 da cana-de-açúcar de acordo com o sistema Kuijper de numeração da folha, após 6 meses da aplicação dos tratamentos. Em decorrência da colheita da cana-de-açúcar realizou-se as amostragens compostas de solo (0 a 20 cm) de cada parcela.

3.5 Análises estatísticas

Os resultados para os atributos avaliados foram submetidos à análise de variância, realizando-se o teste F, e, a partir das médias obtidas, utilizou-se o teste Scott-Knott, com significância a 5%, por meio do programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Teores de nutrientes no solo

A aplicação do pó de ardósia nas doses de 2, 4, 6, 8 e 10 não resultaram em teores de Si disponíveis no solo significativamente maiores do que o tratamento sem aplicação, cuja a média geral foi de 9,2 mg dm⁻³ (Tabela 3). Os teores de Si disponíveis no solo, extraído com CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ são apresentados na Tabela 4.

De acordo com Marafon e Endes (2011), os teores de silício são classificados como nível crítico para solos cultivados com cana-de-açúcar quando possuem entre 6 e 8 mg kg⁻¹, utilizando CaCl₂ 0,01 mol L⁻¹ como extrator. Ao utilizarem este mesmo extrator, Berthelsen et al. (2002), classificaram os teores médios de silício no solo como: muito baixo (0-5 mg kg⁻¹), baixo (5-10 mg kg⁻¹), limitante (10-20 mg kg⁻¹), adequado (20 a >50 mg kg⁻¹). Dessa forma, o teor de Si no solo encontrado na presente pesquisa pode ser classificado entre baixo e limitante.

Tabela 4 - Propriedades químicas do solo após a colheita da cana-de-açúcar, em função dos tratamentos com pó de rocha.

		Propriedades químicas do solo ⁽¹⁾⁽²⁾												
Doses (t ha ⁻¹)	pH	K	P	Ca	Mg	Al	H+Al	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B	Si
		---mg dm ⁻³ ---					cmol _c dm ⁻³ -----							mg dm ⁻³ -----
0	6,5 a	43,1 a	2,6 a	2,4 a	0,9 a	0,1 a	1,5 a	4,8 a	4,2 a	50,3 b	12,4 a	2,9 b	0,27 a	9,1 a
2	6,5 a	55,4 a	3,6 a	2,6 a	0,9 a	0,1 a	1,4 a	6,9 a	6,9 a	55,5 b	12,0 a	3,3 b	0,32 a	8,5 a
4	6,5 a	52,1 a	6,9 a	2,5 a	0,8 a	0,1 a	1,6 a	4,4 a	4,4 a	62,2 a	12,1 a	2,7 b	0,27 a	8,4 a
6	6,7 a	42,3 a	2,4 a	2,8 a	0,8 a	0,1 a	1,3 a	4,4 a	4,4 a	59,5 a	14,1 a	3,0 b	0,26 a	9,6 a
8	6,6 a	45,7 a	2,6 a	2,5 a	0,8 a	0,1 a	1,4 a	9,0 a	9,0 a	58,5 a	14,5 a	3,9 a	0,25 a	10,0 a
10	6,5 a	52,8 a	2,9 a	2,2 a	0,7 a	0,1 a	1,6 a	8,6 a	8,6 a	61,5 a	13,5 a	2,7 b	0,28 a	9,4 a
Média Geral	6,6	48,6	3,5	2,5	0,8	0,1	1,5	5,9	6,2	57,9	13,1	3,1	0,27	9,2
C.V. (%)	3,3	29,1	99,3	16,4	20,2	0,0	22,9	67,0	70,7	7,8	17,4	13,6	19,9	13,4

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

⁽²⁾ Não houve diferenças significativas pelo teste F para os caracteres analisados.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

De acordo com Raij e Camargo (1973) foram encontrados teores de Si extraível com CaCl_2 $0,0025 \text{ mol L}^{-1}$, variando entre 1 até 43 mg dm^{-3} , e Korndörfer et al. (1999), apresentaram que a aplicação de silicato de cálcio resultou em incrementos nas quantidades de Si disponível em quatro solos diferentes, sendo entre $3,2$ a $22,9 \text{ mg dm}^{-3}$ o total de variação na quantidade extraída. Com isso, levando em consideração o valor máximo de Si de 10 mg dm^{-3} (Tabela 4) após aplicação de dose de 8 toneladas de pó de ardósia nesse trabalho, é possível deduzir que a disponibilidade de Si encontrado no solo é baixa, após 6 meses da aplicação desse produto.

Nos solos que dispõem de teores de Si menores que 8 mg dm^{-3} , de acordo com Korndörfer et al. (1999 e 2001), apresentam maiores chances de resposta para aplicação de silicatos. Korndörfer et al. (1999) apontam também que em solos que dispõem de baixos teores de Si disponíveis, a adubação feita com silicato de cálcio (CaSiO_3) melhora as características químicas do solo, incluindo a disponibilidade do Si.

De modo geral, os incrementos no teor de Si disponível no solo são considerados baixos em relação com as quantidades aplicadas, mesmo atingidos valores máximos de 10 mg dm^{-3} , onde passa a ser válido questionamentos sobre a eficiência do pó de ardósia e/ou o método de análise usado.

Analisando os caracteres de fertilidade do solo, houve diferenças para os micronutrientes Fe e Cu, apenas (Tabela 4). O teor de Fe aumentou de maneira linear com as doses aplicadas de pó de ardósia. Entretanto, o resultado geral demonstra que o produto utilizado não foi eficiente no fornecimento de nutrientes. Ainda que com resultados significativos para Fe e Cu em função das doses, e mesmo com suas essencialidades, não foram observados quaisquer ganhos ou respectivas influências sobre as plantas neste estudo.

Segundo o Instituto da Potassa e Fosfato (1998), a faixa de pH adequada para a maior parte das plantas cultivadas no Brasil é entre 6,0 e 6,5. Valores acima dessa faixa passam a representar possibilidade de queda na disponibilidade dos nutrientes e, por volta de 7,5 pode fazer elevar os níveis de alumínio no solo. Já os teores dos micronutrientes F), Cu, Mn e Zn decrescem à medida em que o pH aumenta, independentemente da faixa adequada.

De acordo com Van Straaten (2016), uma possível correlação do valor positivo de Fe seria pela acidez dos solos, que são altamente empobrecidos em nutrientes e intemperizados nas regiões tropicais, principalmente no Brasil.

Já a concentração de Cu, apresentou diferença significativa e superior às demais, sob a dose equivalente a 8 toneladas. De acordo com Raij (2011), quando o solo apresenta teores maiores de Fe e Cu após aplicação de pó de ardósia, isso demonstra que o solo apresenta condições ácidas, e para reverter esse teor de acidez é preciso aumentar o pH, com tendência de queda nos teores de ambos. Segundo Ali et al. (2013), o teor de Cu varia normalmente entre 2 - 40 mg/dm³ de solo. Os valores encontrados nesse trabalho se encontram na mesma faixa, porém, não foram observadas quaisquer interferências negativas ou positivas em virtude disso. A média máxima de Cu no solo, e estatisticamente superior às demais, ocorreu sob a dose 8 com 3,9 mg/dm³. Sob todos os tratamentos os valores para Fe e Cu podem ser considerados altos, de acordo com o Raij et al. (1997).

No caso do Cu, este tende a fixar-se à matéria orgânica do solo e é adsorvido por óxidos de Mn e de Fe ou pode ser fixado aos silicatos estruturais. Além disso, pode ser precipitado na forma de hidróxido, carbonato ou fosfato. Assim como ocorre para outros micronutrientes, o Cu em maiores concentração pode ser tóxico, e as plantas apresentam diferentes graus de tolerância.

O Cu é um dos micronutrientes muito importantes para a cana-de-açúcar, haja visto que é um micronutriente essencial aos vegetais e atua como ativador de várias enzimas, no processo da fotossíntese, e na resistência a várias doenças. Sendo assim, o uso do pó de ardósia apresentou características interessantes no acréscimo do nutriente Cu na cana-de-açúcar.

Trabalhos recentes visando o estudo da aplicação de pó-de-rocha em áreas de canavial, tanto para cana-planta como cana-soca, ainda são escassos. Neste trabalho, não houve diferenças significativas entre os valores de macronutrientes sob qualquer dos tratamentos aplicados. Os teores de macronutrientes presentes no produto aplicado, constam em não mais do que 4,5% da composição do material (a exemplo, Ca = 1,08%; Mg = 3,94; K = 4,39%), à exceção do elemento benéfico Si (39,4%), o que propõe a ausência de efeito significativo sob qualquer das doses aplicadas.

4.2 Concentração foliar

Para a análise foliar dos nutrientes na cana-de-açúcar, não houve diferenças significativas entre as doses aplicadas de pó de rocha (Tabela 4).

Tabela 5 – Teor de nutrientes foliar na cana-de-açúcar, em função do tratamento com pó de rocha.

Doses (t/ha)	Concentração foliar ⁽¹⁾⁽²⁾								
	P	K	Ca	Mg	S	Cu	Fe	Mn	Zn
	g Kg ⁻¹				mg Kg ⁻¹				
0	1,75	10,34	6,77	2,83	2,26	4,25	199,05	40,54	11,44
2	1,81	12,44	7,16	2,96	2,48	4,38	211,75	43,30	12,50
4	1,77	11,76	7,39	2,83	2,27	4,22	153,25	38,14	11,69
6	1,74	11,49	7,29	2,58	2,50	4,53	142,50	49,82	11,24
8	1,96	10,76	8,11	3,02	2,80	4,57	141,95	49,79	12,33
10	1,83	10,52	7,57	2,80	2,84	4,88	151,98	48,47	11,02
Média Geral	1,80	11,22	7,38	2,83	2,53	4,47	166,74	45,01	11,70
C.V. (%)	8,10	15,35	11,77	14,76	15,35	18,60	36,70	15,31	15,41

⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

⁽²⁾ Não houve diferenças significativas pelo teste F para os caracteres analisados.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

O pó de rocha apresenta valores baixos de macronutrientes, os quais são absorvidos e redistribuídos em baixas quantidades. Em consequência, os valores encontrados nas folhas serão menores ainda do que os valores encontrados nas raízes (OLIVEIRA et al., 2007).

Em relação aos micronutrientes nas folhas, a ausência de significância se repete, com baixos teores que associados a determinados valores de pH tem sua disponibilidade reduzida, o que pode ter levado à ausência de significância (OLIVEIRA et al., 2007).

Usando os valores de referência para a cultura de cana referido por Raij et al. (1997), os valores de Ca foliar estão na média desejada, pois o autor aponta valores no intervalo de 2 a 8 g kg⁻¹ como uma faixa adequada de teor de Ca para a cultura. O incremento do pó de rocha na cultura do estudo não aumentou a quantidade de Ca absorvida na planta.

Assim como foi observado na concentração foliar de Ca, para Mg os resultados não foram significativamente maiores para apresentar uma diferença na concentração foliar desse nutriente. Contudo, estão acima dos valores usados como referência por Martinez et al. (1999) que variam de 2,2 a 4,5 g kg⁻¹ de Mg e são maiores ainda dos valores citados por Raij et al. (1997) que apresentou valores adequados para a cultura da cana, que vão de 1 a 3 g kg⁻¹ de Mg.

Os teores de P nas folhas apresentaram média de 1,8 g kg⁻¹, e são inferiores aos apresentados por Martinez et al. (1999), que observaram valores entre 2,1 e 2,5 g kg⁻¹.

Entretanto, de acordo com Raij et al. (1997), os resultados obtidos estão dentro da faixa proposta pelo autor para a cultura, com valores que vão de 1,5 a 3 g kg⁻¹.

De modo geral, o que se encontra no pó de rocha é alto teor de Si, contudo não foi observado diferenças significativas.

4.3 Produção de colmos (TCH)

Para o caractere de produtividade, caracterizado pela produção de colmos (TCH) da cana-de-açúcar, não houve diferenças significativas sob as doses de pó de rocha (Tabela 6). Apresentando média geral de 72 toneladas de colmos por hectare, com coeficiente de variação de 12,6%.

Tabela 6 – Médias de produtividade da cultura da cana-de-açúcar em relação as doses de pó de rocha.

Produção da cana soca ⁽¹⁾⁽²⁾	
Doses (t ha⁻¹)	TCH (t ha⁻¹)
0	79,5
2	70,0
4	73,3
6	63,6
8	73,0
10	72,5
Média Geral	72,0
C.V. (%)	12,6

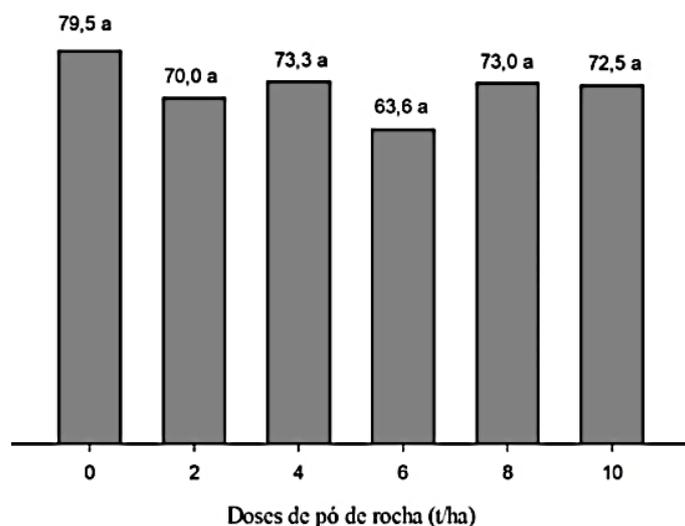
⁽¹⁾ Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

⁽²⁾ Não houve diferenças significativas pelo teste F para os caracteres analisados.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

O estudo do efeito das doses na produção da cana soca mostra que o comportamento do pó de rocha não afetou significativamente a produtividade da cultura, onde o máximo de produção sob dose de pó de rocha atingiu o valor de 73,3 t ha⁻¹, que corresponde à dose de 4 t ha⁻¹ de acordo com os dados apresentados na Tabela 5.

Figura 2 - Médias de produtividade da cana-de-açúcar, em função da aplicação de doses de pó de rocha



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

É possível explicar a queda na produtividade pelo fator relacionado ao pH do solo, ou seja, a aplicação do calcário anterior ao plantio da cana, associado com a aplicação de doses elevadas do pó de rocha que apresenta também poder corretivo, mesmo não apresentando aumentos elevados nos valores do pH, pode ter causado indisponibilização de micronutrientes cujo os quais são fundamentais para o desenvolvimento e para a produção da cana de açúcar. Essa hipótese é citada por Abreu et al. (2007) que afirmaram que os valores altos de pH provocam redução na disponibilidade de micronutrientes catiônicos, ou seja, zinco, ferro, manganês e cobre.

Vários trabalhos feitos no Brasil e no mundo vêm apresentando efeitos benéficos do Si em áreas cultivadas de cana-de-açúcar. Experimento feito com cana-de-açúcar em solos arenosos apresentou um aumento na produção que variou de 11 a 16% na cana planta e de 11 a 20% na cana soca, sob aplicação de 2,8 t ha⁻¹ de silicato de cálcio e magnésio (DATNOFF et al., 2001).

Silveira Junior et al. (2003) relataram que fazendo aplicação de 4 t ha⁻¹ de silicato, ocorreu aumento de 11,4% ou 16 toneladas na produção de colmos na cana soca no segundo corte. Demattê et al. (2011) concluíram que, em várias regiões de São Paulo, tanto em cana soqueira como em cana planta, a ação do silicato nos solos estudados foi positiva, apresentando um aumento na produtividade.

Prado (2000), estudando a resposta da cana associado com a aplicação de escória como corretivo de acidez, observou uma produtividade de 100 t ha⁻¹ de colmos em cana

planta, onde as testemunhas produziram 89 t ha⁻¹ e aplicação da escória em cana soca resultou em 75 t ha⁻¹ de produtividade comparado com 58 t ha⁻¹ da testemunha. Foi observado nesse experimento que, por causa do efeito residual da escória de siderurgia, o declínio da produção no decorrer dos cortes da cultura foi menor.

A mineralogia do pó de rocha adicionado aos solos precisa ser considerada. Dependendo dos níveis de pó de rocha inseridos no sistema, o aumento da concentração de argilominerais como mica, vermiculita e esmectita podem interferir em parâmetros físicos do solo. Estudos à longo prazo precisa ser realizado para a avaliação da transformação desses materiais nos solos, uma vez que argilominerais silicatados podem agir como agentes cimentantes, com forte influência dos ciclos de umedecimento e secagem nas propriedades físicas dos solos (CORRÊA et al., 2015).

Contudo, ainda que considerado um elemento benéfico, neste trabalho não foram encontrados resultados significativos para Si no solo, o que impede qualquer inferência relacionada aos resultados.

5 CONCLUSÃO

O pó-de-rocha oriundo de ardósia, não proporcionou incrementos de fertilidade e tampouco produtivos à cana soca com a variedade RB867515, não sendo, portanto, uma eficiente fonte alternativa ao fornecimento de nutrientes, durante o período avaliado.

REFERÊNCIAS

- ABREU, C. A.; LOPES, A. S.; SANTOS, G. Micronutrientes. In: NOVAIS, R. F., et al. (eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de ciência do solo. p. 645 - 736, 2007.
- ALI, H.; KHAN, E.; SAJAD, M. A. Phytoremediation of heavy metals - concepts and applications. **Chemosphere**, v. 91, n. 7, p. 869-881, 2013.
- ALLMARAS, R. R.; LAIRD, D. A.; DOUGLAS, C. L.; et al. Long-term tillage, residue management and nitrogen fertilizer influences on soluble silica in Haploxerol. **Journal of the American Society of Agronomy**, Washington, p. 323, 1991.
- ALLORERUNG, D. **Influence of steel slag application to red/yellow podzolic soils on soil chemical characteristics, nutrient content and uptake, and yield of sugarcane plantations (*Saccharum officinarum* L.)**. Bogor, Indonésia: Faculty of Agriculture / IPB, p. 14-42. (Bulletin -Pusat-Penelitian-Perkebunan-GulaIndonesia. N. 136), 1989.
- ALMEIDA, E. et al. Revitalização dos solos em processos de transição agroecológica no sul do Brasil. **Agriculturas**, Rio de Janeiro, v.4, n. 1, p. 7-10, 2007.
- ANDERSON, D. L.; BOWEN, J. E. **Nutrição da cana-de-açúcar**. Piracicaba. POTAFÓS, 40 p., 1992.
- ARAÚJO, L. S. **Escórias siderúrgicas e seus efeitos sobre a produtividade, qualidade industrial, e resistência da cana-de-açúcar a doenças e à broca-docolmo**. 71 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2010.
- ARRUDA, D. P. **Avaliação de extratores químicos na determinação de silício disponível em solos cultivados com cana-de-açúcar**. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP. 2009.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Test method for flexural strength of dimension stone**. ASTM C880, 3 p., 2000.
- BECKWITH, R. S.; REEVE, R. Studies on soluble silica in soils. I. The sorption of silicic acid by soils and minerals. **Australian Journal of Soil Research**, Victoria, v.1, p. 157-168, 1963.
- BERTHELSEN, S.; NOBLE, A.; KINGSTON, G.; HURNEY, A.; RUDD, A. **Effect of Ca-silicate amendments on soil chemical properties under a sugarcane cropping system**. In: SILICON IN AGRICULTURE CONFERENCE, Tsuruoka, Japão. Proceedings... Tsuruoka: Japanese Society of Soil Science and Plant Nutrition, 57p, 2002.
- CAMARGO, M. S. de; KORNDORFER, G. H.; WYLER, P. Silicate fertilization of sugarcane cultivated in tropical soils. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 167, p. 64-75, 2014.

- CAMARGO, M. S. de.; KORNDORFER, G. H.; FOLTRAN, D. E.; HENRIQUE, C. M.; ROSSETTO, R. Absorção de silício, produtividade e incidência de *Diatraea saccharalis* em cultivares de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 4, p. 937-944, 2010.
- CHEN, H. M.; ZHENG, C. R.; TU, C.; et al. Chemical methods and phytoremediation of soil contaminated with heavy metals. **Chemosphere**, Oxford, v. 41, p. 229 - 234, 2000.
- CHIODI FILHO, C. Panorama setorial das rochas ornamentais. **Brasil Mineral**, n. 229, p. 124-141, junho, 2004.
- CHIODI FILHO, C.; RODRIGUES, E. P.; ARTUR, C. A. Ardósias de Minas Gerais, Brasil: Características geológicas, petrográficas e químicas. **Geociências**, v. 22, n. 2, p. 119-127, 2003.
- CLEMENTS, H.F. Effects of silicate on the growth and leaf freckle of sugarcane. **Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists**, p. 225-226, 1965.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**, Safra 2019/20. v. 5, n. 3, 74 p. 2020.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**, Safra 2016/17. v. 8, n. 4, 162 p. 2020.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira grãos**, Safra 2016/17. v. 13, n. 7, 162 p. 2021.
- CONLEY, D. J.; SOMMER, M.; MEUNIER, J. D.; et al. Silicon in the terrestrial biogeosphere. In: ITTEKOT, V.; HUMBORG, C.; GARNIER, J. (Eds). **Land ocean nutrient fluxes: silica cycle**. SCOPE Series v. 66, p. 13-28. 2006.
- CORRÊA, M. M.; KER, J. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; CAMÊLO, D. de L. Formas de ferro, silício e, ou, alumínio na gênese de fragipãs e horizontes coesos do tabuleiro costeiro. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 39, p. 940-949, 2015.
- DANTAS, A. A.; CARVALHO, L. G. de; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez., 2007.
- DATNOFF, L. E., SNYDER, G. H., KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier, 403p., 2001.
- DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, Oxford v.16, p.525-531, 1997.
- DEMATTE, J. L. I.; PAGGIARO, C. M.; BELTRAME, J. A.; RIBEIRO, S. S. **Uso de silicatos em cana-de-açúcar**. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 133, 6 p, 2011.
- DEREN, C. W., DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Silicon concentration, disease response, and yield components of rice genotypes grown on flooded organic histosols. **Crop Science**, Madison, v. 34, p. 733 - 737. 1994.

DEREN, C. W.; GLAZ, B.; SNYDER, G. H. Leaf-tissue silicon content of sugarcane Genotypes grown on Everglades Histosols. **J. Plant Nutrition**, Monticello, v.16, n. 11, p. 2273 – 2280, 1993.

DIETZEL, M. Interaction of polysilicic and monosilicic acid with mineral surfaces. In: STOBER, I.; BUCHER, K. (Eds). **Water-rock interaction**. Kluwer, Dordrecht, p. 207-235. 2002.

ELAWAD, S. H.; GASCHO, G. J.; STREET, J. J. Response of sugarcane to silicate source and rate. I. Growth and yield. **Agronomy Journal**, Madison, v.74, p. 481-483, 1982.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. **Nutrição Mineral de Plantas: Princípios e Perspectivas**. trad. Maria Edna Tenório Nunes – Londrina: Editora Planta Título Original: Mineral Nutrition of Plants / Emanuel Epstein e Arnold J. Bloom. – Sunderland: Sinauer Associates, 2004.

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

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

FIGUEIREDO, P. A. M. Particularidades a respeito do potássio. **STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v.24, n.6, p.25, 2006.

FOLTRAN, R. **Aplicação foliar de silício associado ou não a maturadores em cana-de-açúcar**. 2013. 132 f. Tese de doutorado (Doutorado em Agronomia) - Faculdades de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2013.

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

GASCHO, G. J. Silicon sources for agriculture. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier, cap. 12. p.197-207, 2001.

GU, H.; QUI, H.; TIAN, T.; et al. Mitigation effects of silicon rich amendments on heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) planted on multi-metal contaminated acidic soil. **Chemosphere**, Oxford v. 83, p. 1234 - 1240, 2011.

GUNTZER, F.; KELLER, G.; MEUNIER, J. Benefits of plant silicon for crops: a review. **Agronomy for sustainable development**, Paris, v. 32, p. 201-213, 2012.

HANSEN, H. C. B.; RABEN-LANGE, B.; RAULUND-RASMUSSEN, K.; et al. **Monosilicate adsorption by ferrihydrite and goethite at pH 3-6**. Soil Science, Philadelphia v. 158, p. 40 - 46, 1994.

ILLER, R. K. **The chemistry of silica**. Wiley, New York, p. 621. 1979.

- KHATOUNIAN, C. A. **A reconstrução ecológica da agricultura**. Botucatu: Agroecológica, 348 p., 2001.
- KORNDÖRFER, G. H. **Elementos benéficos**. In: FERNANDE S, M. S. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 432p., 2006.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio**. Boletim Técnico UFU, Uberlândia - MG, 2003.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M S. **Papel do silício na produção de cana-de-açúcar**, Stab, Piracicaba, v.21, p. 6-9, 2002.
- KORNDÖRFER, G. H.; FARIA, R. J.; DATNOFF, L. F.; PEREIRA, L. E. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico no solo**. In: FERTBIO. 2002a. Rio de Janeiro 2002a. Anais... Rio de Janeiro: CPGA-CS/UFRRJ, 2002.
- KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. **Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production**. Journal of Plant Nutrition, Athens, v. 24, n. 7, p 1071 - 1084, 2001.
- KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES, V. A.; CORRÊA, G. F.; SNYDER, G. H. **Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 23, n. 1, 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 Agrônomicas, Piracicaba, v.70, p.1-5, 1995.
- KORNDÖRFER, G. H. **A importância da adubação na qualidade da cana de açúcar**. SÁ, M. E. de; BUZZETI, S. (Coordenadores). **Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas**. São Paulo: Ícone, cap. 7, p. 133-142, 1994.
- LIMA FILHO, O. F. de; LIMA, M. T. G. de; TSAI, S. M. **O silício na agricultura**. Informações agrônomicas, nº 87 – setembro/99, 1999.
- MA, J. F.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan**. Dordrecht: Elsevier. 2002.
- MADEIROS, L. B.; VIEIRA, A. O.; AQUINO, B. F. **Micronutrientes e silício nas folhas de cana-de-açúcar: Escória siderúrgica aplicado no solo**. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v.6, p.27-37, 2009.
- MAEDA, A. S. **Adubação nitrogenada e potássica em socas de cana de açúcar com e sem queima em solos de cerrado**. 2009. 110f. Tese de doutorado (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Engenharia do Campus de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.
- MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**. São Paulo: Ceres, 124p., 1992.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 638 p. 2006.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. **Diagnose foliar**. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (ed). *Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a Aproximação*. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. p. 143-167, 1999.

MARAFON, A.C.; ENDRES, L. **Adubação silicatada em cana-de-açúcar**. Embrapa Tabuleiros Costeiros (Documentos 307) – Aracaju - SE, 46p. 2011.

MATCHENKOV, V. V.; CALVERT, D. V. **Silicon as a beneficial element for sugarcane**. Journal American Society of Sugarcane Technologists. [S.l.], v. 22, p. 21. 2002.

MATCHENCOV, V. V.; BOCHARNIKOVA, E. A. **The relationship between silicon and soil physical and chemical properties**. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDORFER, G. H. (eds) *Silicon in agriculture*. Elsevier, Amsterdam, p 209-219, 2001.

McKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. **Silica in soil solutions**. I. The form and concentration of dissolved silica in aqueous extracts of some soils. Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, v. 43, p. 70-82, 1963.

NORTON, L. D. **Micromorphology of silica cementation in soils**. In: RINGROSEVOASE, A. J.; HUMPHREYS, G. S. (Eds.). *Soil micromorphology: studies in management and genesis*. De Soil Sci, S. l., v. 22, v. 811-824, 1984.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; WEBER, H.; IDO, O. T.; ZUFELLATO-RIBAS, K. C.; KOEHLER, H. S.; SILVA, D. K. T. **Área foliar em três cultivares de cana-de-açúcar e sua correlação com a produção de biomassa**. Pesquisa Agropecuária Tropical, Brasília, DF, v. 37, n. 2, p. 71-76, 2007.

ORLANDO FILHO, J. **Calagem e adubação da cana de açúcar**. In: CÂMARA, G. M. S; OLIVEIRA, E. A. M. (Eds). *Produção de cana de açúcar*. Piracicaba: FEALQ, p. 133 146., 1993.

PANOV, N. P.; GONCHAROVA, N. A.; RODIONOVA, L. P. **The role of amorphous silicic acid in solonetz soil processes**. Vestnik Agr Sci, S. l., v.11, p.18, 1982.

PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KORNDÖRFER, G. H. **Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, p. 101-108. 2003.

POTAFOS - Instituto da Potassa e Fosfato. **Manual Internacional de Fertilidade do Solo**. Piracicaba, SP. 2ª ed., p. 28 a 34, 1998.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. **Resposta da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez do solo**. 97 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira, SP, 2000.

- RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de Adubação e Calagem para o Estado de São Paulo**. Boletim Técnico 100, Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas - SP, n. 100, 285 p., 1997.
- RAIJ, B. V.; CAMARGO, O. A. **Sílica solúvel em solos**. *Bragantia*, Campinas, v. 32, p. 223-231, 1973.
- RODRIGUES, F. de A.; OLIVEIRA, L. A. de; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. **Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas**. *Informações Agrônomicas*, nº 134, p. 14-20, 2011.
- ROSS, L.; NABABSING, P. CHEONG, Y. W. Y. Residual effect calcium silicate applied to sugarcane soils. In: **Proceedings of International Society of Sugar Cane Technologists Congress**. 15, Durban, 1974. Proc., v.2, p. 539 - 542, 1974.
- SAMUELS, G. **Silicon and Sugar**. *Sugar y Azucar*, Engliword, v. 65, p. 25 - 29. 1969.
- SANDIM, A. da S.; RIBON, A. A.; DIOGO, L. O.; SAVI, M. A. **Doses de silício na produtividade do milho (Zea mays L.) híbrido simples na região de Campo Grande – MS**. *Cascavel - PR*, v.3, n.1, p.171-178, 2010.
- SAUER, D.; SACCONI, L.; CONLEY, D. J.; et al. **Review of methodologies for extracting plant-available and amorphous Si from soils and aquatic sediments**. *Biogeochemistry*, Lawrence, v. 80, p. 89-108, 2006.
- SAVANT, N. K.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. **Silicon management and sustainable rice production**. *Advances in Agronomy*, San Diego, v. 58, p.151- 199, 1997.
- SIEVER, R.; WOODFORD, N. **Sorption of silica by clay minerals**. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Hamilton, v. 37, p. 1851-1880, 1973.
- SILVA, A. C. A. e. **Efeito do silício aplicado no solo e em pulverização foliar na incidência da lagarta do cartucho na cultura do milho**. Botucatu: [s.n.]. 67 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Proteção de plantas), 2009.
- SILVEIRA JUNIOR, e G.; PENATTI, C.; KORNDORFER, G. H.; CAMARGO, M. S. de. **Silicato de cálcio e calcário na produção e qualidade da cana-de-açúcar – Usina Catanduva**. In: XXIX Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Ribeirão Preto. Anais... Solo: Alicerce dos Sistemas de Produção, p. 66, 2003.
- SNYDER, G. H.; JONES, D. B.; GASCHO, G. J. **Silicon fertilization of rice on Everglades Histosols**. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.50, p. 1259-1263, 1986.
- SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H.; WANGEN. D. R. B. **Aproveitamento de silício proveniente de escória siderúrgica por cultivares de cana-de-açúcar**. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 3, p. 669-676, 2010.
- TAKAHASHI, E. **Uptake mode and physiological functions of silica**. In: SCIENCE OF THE RICE PLANT: PHYSIOLOGY. Food and Agriculture Policy Research Center, v.2, p. 420 - 433, 1240p., 1996.

TOKUNAGA, Y. **Potassium silicate: a slow release potassium fertilizer.** Fertilizer Research, Dordrecht, v.30, p.55, 1991.

TUBAÑA, B. S.; HECKMAN, J. R. **Silicon in Soils and Plants.** In: RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. (Eds.). Silicon and Plant Diseases. Springer, p. 8 -51. 2015.

UNICA - UNIAO AGROINDUSTRIA CANAVIEIRA DE SAO PAULO. **Estatísticas. São Paulo: União da Agroindústria Canavieira de São Paulo**, 2006. Disponível em: <<http://www.portalunica.com.br/acao/canajsp>>. Acesso: em 19 ago. 2021.

VALE, L. A. R. **Avaliação do potencial de uso agrícola da fluorita com óxido de silício, derivado da fabricação de fertilizantes fosfatados - AgroSiCa.** 86 p. Tese (Doutorado em Recursos Naturais e Uso da Terra) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

VAN STRAATEN, P. **Farming with rocks and minerals: challenges and opportunities.** Anais da Academia Brasileira de Ciências, v. 78, p. 731-747, 2016.

VOLKOVA, V. V. **Silicate content in soil solutions and natural waters of the Russian plain.** In: KOVDA, V. A. (Ed). Pedological and biogeocenotic research of the Russian lowland centre. Nauka Publication, Moscow. 1980.

WEDEPOHL, K. H. **The composition of the continental crust.** Geochimica et Cosmochimica Acta, Hamilton, v. 59, p. 1217-1232, 1995.