

USO DE SILICATOS EM CANA-DE-AÇÚCAR

José Luiz Ioriatti Demattê¹
Cássio Manin Paggiaro²

João Américo Beltrame³
Sebastião Santos Ribeiro⁴

INTRODUÇÃO

O silício (Si), apesar de não ser considerado elemento essencial para as plantas, é o elemento mais absorvido pela cana-de-açúcar, seguido por potássio (K), nitrogênio (N), cálcio (Ca) e magnésio (Mg) (TISDALE et al., 1985). Na variação usual de pH do solo (4,0 a 6,5), o $H_4SiO_4^0$, ou $Si(OH)_4$, é a principal forma de silicato encontrada na solução do solo, sendo assim absorvido. A pH acima de 8,5 a espécie iônica $H_3SiO_4^-$ é a predominante, sendo absorvido nesta forma. Em elevadas concentrações, a cerca de 28 ppm de silício na solução, a forma do monômero $H_4SiO_4^0$ se polimeriza formando precipitados de sílica amorfa. Uma vez absorvido pela cana, o silício se concentra nas margens da folha na forma de sílica amorfa, podendo desenvolver cargas negativas (EPSTEIN, 1999) e, ao mesmo tempo, criar condições de proteção mecânica à invasão de microrganismos e dificultar o ataque de insetos sugadores (JONES e HANDRECK, 1967). A avides da planta por Si é explicada pelo fato de ser ele um dos componentes majoritários dos silicatos e, em particular, dos filossilicatos, ou minerais de argila dos solos, que, pela ação do intemperismo, liberam Si e alumínio (Al). O Si em solução sofre a ação do pH do solo, o que pode aumentar ou diminuir sua concentração (RAIJ e CAMARGO, 1973; LINDSAY, 1979). Por apresentarem maior quantidade de filossilicatos, os solos argilosos, quando comparados aos arenosos, apresentam maior quantidade de Si em solução, apesar de os solos arenosos serem ricos em quartzo (SiO_2), mineral este de difícil decomposição química.

As principais fontes de silício, além do próprio solo, são os silicatos, que apresentam uma série de ações benéficas, influenciadas pela alteração do pH, entre elas o aumento de Ca, Mg, saturação por bases e P. Um número grande de materiais tem sido utilizado como fonte de Si para as plantas, tais como: escórias de siderurgia, wollastonita (esta apresenta poder de neutralização equivalente ao do carbonato de cálcio, de 76,4%), subprodutos da produção de fósforo elementar, metassilicato de cálcio, metassilicato de sódio, cimento, termofosfato, silicato de magnésio (serpentinitos) e silicato de cálcio.

As escórias siderúrgicas – subprodutos ricos em Si e em óxido de cálcio e magnésio – são as fontes mais abundantes e baratas de silicatos, sendo utilizadas principalmente como corretivo de acidez do solo e como fonte de Ca e Mg para as plantas, especialmente para solos arenosos de baixa fertilidade. Segundo Alcarde (1992), o silicato de cálcio é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio, característica esta que o torna mais favorável do que o calcário na ação da correção do pH em profundidade do solo e, atualmente, em soqueira de cana colhida com palha.

Assim como para o calcário, a reatividade da escória varia segundo a granulometria (NOVAIS et al., 1993), a dosagem utilizada, o tipo de solo e o tempo de contato com o solo (PIAU, 1991; NOVAIS et al., 1993). Escórias de alto forno com partículas menores que 0,3 mm são mais eficientes na disponibilização de Ca e Mg para o solo, enquanto as mais grosseiras, com partículas maiores que 2 mm, são as menos efetivas (OLIVEIRA et al., 1994).

A alegação de que os silicatos tendem a aumentar a resistência da planta contra o ataque de pragas e doenças é válida principalmente para o arroz. Em relação à cana-de-açúcar, testes com silício conduzidos na África do Sul por Keeping e Meyer (1999) indicaram que os tratamentos com Si resultaram em significativo aumento da resistência da cana-de-açúcar ao ataque da broca do colmo, *Eldana saccharina*. Posteriormente, Keeping e Meyer (2003) observaram que a aplicação de 5,0 t ha⁻¹ de silicato de cálcio no plantio da cana reduziu em 33,7% os danos causados pela praga.

Trabalhos preliminares no Brasil, nesta linha, não tem sido conclusivos, principalmente em relação à resistência da cana à broca de colmos. Porém, pesquisas utilizando silicato no controle da cigarrinha de raiz, como as desenvolvidas por Wagnen (2007), devem ser incentivadas.

Observações feitas por Rossetto et al. (2005) sobre o comportamento de variedades de cana em regiões mais secas sugeriram a hipótese de que o silício pode auxiliar na maior tolerância da planta à seca. Assim é que, em análise no período seco, os autores notaram que as variedades RB 85 5035 e RB 83 5486 foram as que, num grupo de seis, apresentaram maior concentração de silício nas folhas e, coincidentemente, as que menos sentiram os efeitos da estiagem.

Em cana-de-açúcar, os silicatos tem sido utilizados há muitos anos, promovendo aumento de produtividade (JONES e HANDRECK, 1967), particularmente em experimentos conduzidos no Brasil por Casagrande et al. (1981) e posteriormente pela equipe liderada por pesquisadores da Universidade de Uberlândia (KORN-DÖRFER et al., 1999a, 1999b, 1999c, 2001). Em experimentos com uso de fontes não convencionais, obteve-se aumento médio de 14 t ha⁻¹ de cana-de-açúcar com a aplicação de 4 t ha⁻¹ de cimento no plantio da cana-de-açúcar, na Usina Nova União, em Serrana, SP. O cimento apresenta, no entanto, vários inconvenientes, como elevado preço e risco do concretamento do solo.

Nas folhas, onde há maior concentração de silício, os teores podem variar na faixa de 0,14% a 6,7% sendo que o nível crítico sugerido por Anderson et al. (1991) é de 1%. Por sua vez, Korn-dörfer et al. (2000), trabalhando com as variedades RB 72 454, SP 791011 e SP 71 6163, observaram que os teores de Si na folha

Abreviações: Ca = cálcio, CTC = capacidade de troca de cátions, K = potássio, Mg = magnésio, N = nitrogênio, P = fósforo, PRNT = poder relativo de neutralização total; THC = toneladas de cana por hectare; USH = Usina Santa Helena.

¹ Professor Titular e ex-Chefe do Departamento de Solos e Nutrição de Plantas, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP, email: jlid@terra.com.br

² Engenheiro Agrônomo, Gerente Agrícola Corporativo, Grupo Cosan.

³ Consultor.

⁴ Engenheiro Agrônomo, Supervisor Agrícola, Regional Jaú, Grupo Cosan.

variaram de acordo com a variedade, nas concentrações de 0,7%, 0,4% e 1,4%, respectivamente. Meyer (2002) indica a aplicação de silício quando o teor na análise foliar estiver abaixo de 0,35% e, neste caso, uma dose máxima de 600 kg ha⁻¹ tem sido sugerida.

Segundo Datnoff et al. (2001), aumentos na produção de cana-de-açúcar variaram de 11% a 16% na cana-planta e de 11% a 20% na cana-soca com a aplicação de doses de silicato de cálcio e magnésio variando de 0,7 t ha⁻¹ a 5,2 t ha⁻¹. Resultados semelhantes foram obtidos por Korndörfer et al. (2003).

Entretanto, uma questão que tem ficado pendente em relação ao uso deste produto em cana-de-açúcar é a seguinte: **O acréscimo de produtividade decorrente do uso de silicatos em cana se deve ao Si ou aos óxidos de Ca e Mg presentes em sua composição?**

Para elucidar esta questão, foram montados três experimentos com cana-planta e cinco com cana-soca em diversas regiões do estado de São Paulo, em solos arenosos de baixa fertilidade, nos quais foram testadas doses crescentes de silicato, assim como de calcário.

2. MATERIAL E MÉTODO

Foram conduzidos três experimentos em cana-planta e cinco em soqueira, sendo dois deles com efeito residual em cortes subsequentes, ambos instalados na Usina Santa Helena, em Rio das Pedras, SP. A relação dos experimentos e os locais de instalação estão indicados na Tabela 1.

No caso dos experimentos em soqueira da Usina Santa Helena (USH), a instalação do ensaio USH 5 ocorreu logo após o segundo corte, em junho de 2004, e o terceiro, em julho de 2005. O quarto corte, feito em julho de 2006, foi considerado como efeito residual dos produtos aplicados em 2004. Quanto ao ensaio USH 6, a instalação foi feita em maio de 2004 e o segundo corte em junho de 2005. A partir daí, os demais cortes – julho de 2006, agosto de 2007 e agosto de 2008 – foram considerados como resultado do efeito residual. Os solos nos quais os ensaios foram instalados apresentaram as seguintes características: textura média-arenosa, teor de argila na faixa de 15% a 25%, baixa fertilidade, distróficos ou álicos e de perfis latossólicos. Exceção para o argissolo de textura areia/média-arenosa no ensaio da Usina Univalem. Os Ambientes de Produção estão relacionados na Tabela 1. De maneira geral, os valores de capacidade de troca de cátions (CTC) dos solos da maior parte dos ensaios situavam-se

na faixa de 3,5 a 5,0 cmol dm⁻³, exceto em um dos ensaios da USH (5,5 cmol dm⁻³), e outro da Usina Costa Pinto (6,5 cmol dm⁻³).

Instalação dos ensaios em cana-planta

Quantidade dos produtos

Devido ao fato de os diversos ensaios estarem localizados em regiões distintas, os critérios para definição das quantidades de silicato e de calcário a serem utilizadas foram diferentes (Tabela 2), porém, o objetivo era o de buscar a resposta à questão apresentada anteriormente. As diferenças nas doses aplicadas de calcário se devem às variações nos valores da CTC dos solos. Visando testar a real reação deste insumo em solo arenoso, utilizou-se maiores doses de silicato (> 1,0 t) no ensaio da Usina Gasa 2, com o objetivo de aumentar os teores do elemento no solo. Nos ensaios da Usina Gasa 1 e da Usina Junqueira também foi testada a interação silicato:calcário, sendo o silicato aplicado em dose crescente e o calcário em uma única dose.

Tabela 2. Doses de silicato e de calcário utilizadas nos ensaios de cana-planta.

Usina Gasa 1		Usina Junqueira		Usina Gasa 2	
Silicato	Calcário	Silicato	Calcário	Silicato	Calcário
----- (t ha ⁻¹) -----					
0	0	0	0	0	0
0,25	0	0,25	0	0	1,6
0,50	0	0,50	0	0	2,4
0,75	0	0,75	0	1,6	0
1,00	0	1,00	0	2,4	0
0,25	1,6	0,25	2,5	-	-
0,50	1,6	0,50	2,5	-	-
0,75	1,6	0,75	2,5	-	-
1,00	1,6	1,00	2,5	-	-
0	1,6	0	2,5	-	-

Tabela 1. Localização, categoria de corte, período de instalação e de corte, ambiente de solo e variedade de cana utilizada nos experimentos conduzidos em diversas usinas.

Local	Categoria	Instalação	Corte	Ambiente ¹	Variedade
1 - Usina Gasa	Cana-planta	Abril/2005	Junho/2006	D	RB 867515
2 - Usina Gasa	Cana-planta	Abril/2005	Junho/2006	D	RB 867515
3 - Usina Junqueira	Cana-planta	Março/2005	Julho/2006	D	RB 867515
4 - Usina Junqueira	Cana-soca	Maio/2005	Junho/2006	E	RB 855156
5 - Usina Santa Helena	Cana-soca	Junho/2004	Julho/2005, Agosto/2006	E	RB 86 7515
6 - Usina Santa Helena	Cana-soca	Maio/2004	Junho/2005, Julho/2006, Agosto/2008, Agosto/2007	D	RB 867515
7 - Usina Costa Pinto	Cana-soca	Julho/2005	Julho/2006	D	RB 855156
8 - Usina Univalem	Cana-soca	Junho/2005	Agosto/2006	E	RB 867515

¹ D = potencial de produtividade médio/baixo, TCH (toneladas de cana por hectare) de 80 a 85 (média de quatro cortes).

E = potencial de produtividade baixo, TCH menor que 80 (média de quatro cortes).

Após a delimitação da área para a instalação dos ensaios, esta foi sulcada e nela foram incorporados 500 kg ha⁻¹ da formulação 10-25-25, em parcelas de 10 sulcos de 15 m, com quatro repetições, em todos os tratamentos.

O calcário foi aplicado em quantidade suficiente para atingir 60% da saturação por bases, em área total, ligeiramente incorporado e posteriormente aplicado no sulco com a formulação de plantio. Eventualmente, em alguns casos, utilizou-se o dobro da dose.

O silicato foi aplicado manualmente nas paredes do sulco de plantio, ou próximo à linha de cana. A dose máxima utilizada no experimento de soqueira foi de 1,0 t ha⁻¹ para os ensaios Gasa 1 e Junqueira. No ensaio Gasa 2, as doses de silicato foram de 1,6 t ha⁻¹ e 2,4 t ha⁻¹, semelhantes às de calcário. A dose de 1,6 t ha⁻¹ de calcário correspondeu à metade da dose calculada para saturação por bases de 60%.

A Tabela 3 resume os tratamentos utilizados nas soqueiras de cana. No caso dos ensaios da Usina Santa Helena, as diferentes doses de silicato e de calcário utilizadas se justificam devido aos diferentes valores de CTC dos solos. No ensaio da Usina Costa Pinto, nota-se que os valores tanto de calcário como de silicato são bem mais elevados, justamente devido aos maiores valores de CTC em todos os ensaios instalados. Além disso, havia a intenção de se estudar os efeitos de doses crescentes tanto de silicato como de calcário.

A composição do silicato utilizado nos ensaios era de 40% de CaO, 10% de MgO e 23% de SiO₂. Em relação ao calcário, o da região de Piracicaba apresentou PRNT de 75% enquanto o da Usina Univalem e da Usina Junqueira era de 85%.

Na operação de cobertura, foi utilizado 0,25 kg ha⁻¹ de Regent (inseticida-cupinicida) em todos os tratamentos. A colheita foi realizada manualmente, após a queima da cana.

Depois do corte e da colheita da cana queimada e da liberação da área, foi aguardada a brotação das soqueiras e escolhidos os locais para a instalação dos ensaios. Estes foram esquadros e ajustados às parcelas de 10 sulcos de 15 m, com quatro repetições. Posteriormente, foram aplicados manualmente o silicato

e o calcário em área total, seguidos pela adubação da soqueira com NK (18-00-27) em quantidade estabelecida de acordo com a expectativa de produtividade, sendo ligeiramente incorporados ao solo com equipamento de cultivo.

A colheita dos ensaios foi feita de acordo com o cronograma apresentado na Tabela 1. A análise estatística foi feita individualmente, comparando-se as médias, no nível de 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

• Cana-planta

Os resultados de produtividade de cana-planta das usinas testadas estão apresentados na Tabela 4. Nota-se a reação positiva da planta à medida que aumenta a quantidade de silicato aplicada nas Usinas Gasa 1 e Junqueira. Observa-se na unidade Gasa 1 que o aumento crescente das doses de silicato, de 0,25 t ha⁻¹ para 1,0 t ha⁻¹, aumentou a produtividade de 87 t ha⁻¹, na dose zero, para 102 t ha⁻¹, na dose máxima de 1,0 t ha⁻¹, com acréscimo de 15 t ha⁻¹ de colmos. Tal valor vem corroborar os resultados dos trabalhos da literatura quanto aos efeitos positivos deste produto. Entretanto, quando se utilizou somente o calcário na dose única de 1,6 t ha⁻¹, suficiente para, teoricamente, atingir o valor de 60% da saturação por bases do solo em questão, a produtividade de colmos também foi elevada, na faixa de 103 t ha⁻¹, com acréscimo de 16 t ha⁻¹, semelhante à produtividade obtida com a dose máxima de silicato, indicando, com isso, o efeito dos óxidos no aumento da produtividade em questão. Sabe-se que o calcário tem sido utilizado em cana-de-açúcar há muito tempo, apresentando também resultados significativos no aumento de produtividade, inclusive em solos mais argilosos.

Por outro lado, os efeitos da interação silicato:calcário na produtividade agrícola também podem ser observados na Tabela 4. A produtividade obtida com o uso isolado de silicato, nas doses de 0,25 a 0,75 t ha⁻¹, está na faixa de 89 a 93 t ha⁻¹, com acréscimos não significativos de 2 a 6 t ha⁻¹ de colmos. Porém, na associação com o calcário, este na dose única, a produtividade de 93 t ha⁻¹, com o uso

Tabela 3. Doses de silicato e de calcário utilizadas nos ensaios de cana-soca.

Usina Santa Helena 1		Usina Santa Helena 2		Usina Univalem		Usina Junqueira		Usina Costa Pinto	
Silicato	Calcário	Silicato	Calcário	Silicato	Calcário	Silicato	Calcário	Silicato	Calcário
----- (t ha ⁻¹) -----									
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,25	0	0	1,2	0	1,5	0,25	0	1,5	0
0,50	0	0	2,0	0	2,3	0,50	0	1,5	1,5
0,75	0	1,2	0	1,5	0	0,75	0	1,5	3,0
1,00	0	2,0	0	2,3	0	1,00	0	1,5	4,5
0,25	1,6					0,25	2,5	3,0	0
0,50	1,6					0,50	2,5	3,0	1,5
0,75	1,6					0,75	2,5	3,0	3,0
1,00	1,6					1,00	2,5	3,0	4,5
0	1,6					0	2,5	4,5	0
								4,5	1,5
								4,5	3,0
								4,5	4,5
								0	1,5
								0	3,0
								0	4,5

Tabela 4. Doses de silicato e de calcário e produtividade de colmos das usinas testadas.

Usina Gasa 1			Usina Junqueira			Usina Gasa 2		
Silicato	Calcário	Produtividade	Silicato	Calcário	Produtividade	Silicato	Calcário	Produtividade
----- (t ha ⁻¹) -----								
0	0	87 a	0	0	93 a	0	0	99 a
0,25	0	89 a	0,25	0	100 a	0	1,6	109 b
0,50	0	94 a	0,50	0	99 a	0	2,4	115 b
0,75	0	93 a	0,75	0	100 a	1,6	0	103 a
1,0	0	102 b	1,0	0	104 b	2,4	0	101 a
0,25	1,6	100 b	0,25	2,5	101 b			
0,50	1,6	102 b	0,50	2,5	103 b			
0,75	1,6	109 c	0,75	2,5	107 b			
1,0	1,6	100 b	1,0	2,5	105 b			
0	1,6	103 b	0	2,5	103 b			

de silicato na dose 0,75 t ha⁻¹, passa para 100 t ha⁻¹, com significativo acréscimo de produtividade de 13 t ha⁻¹, indicando, neste caso, que a quantidade de óxidos, contida no silicato, não foi suficiente para o aumento de produtividade. Com a dose máxima, tanto de calcário quanto de silicato, no caso 1,6 t ha⁻¹ e 1,0 t ha⁻¹, respectivamente, não houve alteração nos valores de produtividade, no caso 102 t ha⁻¹, indicando ser este o valor máximo de silicato a ser aplicado neste solo.

No ensaio realizado na Usina Gasa 2, aplicando-se doses mais elevadas de silicato, 1,6 t ha⁻¹ e 2,4 t ha⁻¹, o maior acréscimo na produtividade de cana, de 4 t ha⁻¹, foi obtido com a menor dose do produto, indicando que o aumento da quantidade de silicato neste caso não proporcionou os efeitos desejados. Por outro lado, o aumento da dose de calcário de 1,6 t ha⁻¹ para 2,4 t ha⁻¹ permitiu aumentos na produtividade agrícola – de 99 t ha⁻¹, na dose zero, para 109 t ha⁻¹ na dose de 1,6 t ha⁻¹ e para 115 t ha⁻¹ na dose de 2,4 t ha⁻¹ – com acréscimo de 16 t ha⁻¹, bem superior ao obtido com o uso de silicato.

No ensaio da Usina Junqueira houve tendência de incremento de produtividade com o uso de doses crescentes de silicato, atingindo valor máximo na dose de 1,0 t ha⁻¹, com 104 t ha⁻¹ de colmos, um acréscimo de 11 t ha⁻¹, indicando também, neste caso, a ação positiva do silicato. Porém, quando se empregou o calcário na dose de 2,5 t ha⁻¹, valor calculado para atingir 60% da saturação por bases do solo em questão, a produtividade obtida foi semelhante à observada com a dose máxima de silicato. Na interação dos dois produtos, novamente se observa o acréscimo de produtividade, indicando a ação positiva do calcário.

De acordo com os resultados obtidos, principalmente nos ensaios Gasa 1 e Junqueira, pode-se inferir que tanto o silicato como o calcário apresentam as mesmas tendências de aumento da produtividade.

• Cana-soca

Os ensaios em cana-soca podem apresentar uma série de problemas, principalmente em relação ao aumento dos níveis de compactação e de injúrias das soqueiras assim como aos ataques de pragas de solos, no caso específico dos solos arenosos, como nematoides e *Sphenophorus* na região de Piracicaba, SP. Para isso, cuidados devem ser levados em consideração para não incorrer em conclusões errôneas. No presente caso, as áreas escolhidas para os ensaios foram devidamente observadas, tomando-se o cuidado de escolher as soqueiras logo após o primeiro ou segundo corte. Por outro lado, um problema bastante comum observado nos ensaios

em soqueira tem sido o fato de os pesquisadores não submeterem os testes a um número maior de cortes, visando analisar os efeitos residuais dos produtos aplicados. No presente caso, tal fato foi levado em consideração no ensaio da Usina Santa Helena.

Resultados obtidos em solo arenoso da Usina Junqueira (Tabela 5) mostram que o silicato aumentou a produtividade em 6 t ha⁻¹ com doses de 0,75 e 1,0 t ha⁻¹ do produto. Na associação de silicato com calcário ainda houve um sensível aumento na produtividade, indicando que para este solo há necessidade da aplicação de doses superiores a 1,0 t ha⁻¹ do produto. Quando se aplicou somente calcário, a produtividade obtida foi semelhante à observada com a dose máxima de silicato, indicando, mais uma vez, que a ação da carbonatação, tanto do calcário como dos óxidos de Ca e Mg do silicato, tem sido responsável pelo acréscimo de produtividade.

No ensaio da Usina Santa Helena 1 (Tabela 5), instalado após o segundo corte de cana, nota-se, no terceiro corte, acréscimo de até 10 t ha⁻¹ com o uso da dose máxima de silicato. A associação de silicato com calcário, neste terceiro corte, praticamente não alterou a produtividade, indicando, mais uma vez, que a dose de 1,0 t ha⁻¹ de silicato tem sido suficiente. Por outro lado, quando se observa a ação do calcário sem o silicato, nota-se que a produtividade no terceiro corte foi semelhante à obtida com o uso da dose máxima de silicato. Os dados mostram, ainda, que há efeitos residuais dos dois produtos, colaborando para o aumento da produtividade.

Quanto ao efeito residual em todos os cortes, nota-se que a dose máxima de silicato provocou um acréscimo acumulado de 20 t ha⁻¹, semelhante ao valor observado com a aplicação isolada de calcário. Tais efeitos de longa duração estão associados à melhoria das características químicas do solo, no caso o pH, devido à ação corretiva destes produtos.

O ensaio desenvolvido na Usina Costa Pinto (Tabela 6) objetivou testar doses crescentes de silicato – 1,5 t ha⁻¹, 3,0 t ha⁻¹ e 4,5 t ha⁻¹ – na produtividade da cana-de-açúcar, associadas a doses também crescentes de calcário. A instalação ocorreu após o primeiro corte da cana. Observou-se que não houve acréscimo de produtividade de cana com o aumento das doses de silicato, quando aplicado isoladamente, permanecendo em 122 t ha⁻¹, 124 t ha⁻¹ e 123 t ha⁻¹, respectivamente, indicando que não há necessidade do uso de elevadas doses deste produto. Observou-se que o uso de calcário, isoladamente, apresentou as mesmas tendências de aumento de produtividade. Por outro lado, a associação de silicato com calcário ainda tem mostrado efeitos positivos sobre

a produtividade, como observado com o uso da dose de 1,5 t ha⁻¹ de silicato e de 3,0 t ha⁻¹ de calcário (126 t ha⁻¹), ou com doses de 3,0 t ha⁻¹ de ambos os insumos (129 t ha⁻¹).

Em relação aos resultados da Usina Univalem, em solo de baixa CTC, observou-se que as doses crescentes tanto de silicato como de calcário praticamente não tiveram efeito sobre a produtividade. Entretanto, nos experimentos da Usina Santa Helena 2, pode-se notar que tanto o silicato, nas dosagens de 1,2 e 2,0 t ha⁻¹,

como o calcário, nas mesma dosagens, aplicados após o segundo corte, propiciaram acréscimos semelhantes no terceiro corte, com efeito residual no quarto corte. Assim é que, nestas doses, os acréscimos de produtividade foram, respectivamente, de 7 e 11 t ha⁻¹ com a aplicação isolada de silicato, e de 8 t ha⁻¹ e 10 t ha⁻¹ com a aplicação isolada de calcário. Em relação ao efeito residual destes dois produtos, também houve acréscimos de produtividade no quarto corte, com valor semelhante para a dose de 2,0 t ha⁻¹ de calcário e

Tabela 5. Resultados da ação do silicato e do calcário em soqueiras das usinas Junqueira e Santa Helena 1.

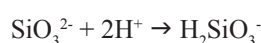
Usina Junqueira			Usina Santa Helena 1							
Silicato	Calcário	2º corte	Silicato	Calcário	3º corte	Acréscimo de produtividade	4º corte	5º corte	6º corte	Acréscimo acumulado (3º ao 6º corte)
----- (t ha ⁻¹) -----										
0	0	96 a	0	0	109 a	0	107	104	87	0
0,25	0	100 a	0,25	0	102 a	-7	112	105	87	-1
0,5	0	99 a	0,5	0	114 a	5	110	107	85	9
0,75	0	102 a	0,75	0	118 b	9	112	106	90	19
1,0	0	102 a	1,0	0	119 b	10	111	107	90	20
0,25	2,5	101 a	0,25	1,5	119 b	10	112	109	90	23
0,5	2,5	103 b	0,5	1,5	115 a	6	112	110	92	22
0,75	2,5	107 b	0,75	1,5	120 b	11	115	108	85	21
1,0	2,5	105 b	1,0	1,5	119 b	10	111	107	88	18
0	2,5	104 b	0	1,5	118 b	9	109	112	89	21

Tabela 6. Resultados da ação do silicato e do calcário em soqueira das usinas Costa Pinto, Univalem e Santa Helena 2.

Usina Costa Pinto			Usina Univalem			Usina Santa Helena 2					
Silicato	Calcário	2º corte	Silicato	Calcário	3º corte	Silicato	Calcário	3º corte	Acréscimo de produtividade	4º corte	Acréscimo acumulado (3º e 4º cortes)
----- (t ha ⁻¹) -----											
0	0	114 a	0	0	97 a	0	0	107 a	0	105	0
1,5	0	122 b	0	1,5	98 a	0	1,2	115 b	8	112	15
1,5	1,5	124 b	0	2,3	100 a	0	2,0	117 b	10	111	16
1,5	3,0	126 b	1,5	0	99 a	1,2	0	114 b	7	109	11
1,5	4,5	126 b	2,3	0	99 a	2,0	0	118 b	11	111	17
3,0	0	124 b									
3,0	1,5	123 b									
3,0	3,0	129 c									
3,0	4,5	127 c									
4,5	0	123 b									
4,5	1,5	127 c									
4,5	3,0	127 c									
4,5	4,5	133 c									
0	1,5	121 a									
0	3,0	126 b									
0	4,5	123 b									

de silicato, aplicados isoladamente, ou seja, acréscimo de 6 t ha⁻¹ de cana. Nos valores acumulados de dois cortes, os acréscimos de 16 t ha⁻¹ e 17 t ha⁻¹ proporcionados pelo calcário e pelo silicato, respectivamente, na dose de 2,0 t ha⁻¹, indicam que ambos os produtos seguramente pagam o investimento realizado.

Os resultados obtidos nestes ensaios, tanto em cana-planta como em cana-soca, nas mais diversas regiões do estado de São Paulo, indicam que o silicato e o calcário apresentam efeitos similares no aumento da produtividade da cana. Mediante tais resultados, acredita-se que o efeito proporcionado pelo silicato no aumento da produtividade seja atribuído mais à ação dos óxidos de cálcio e magnésio presentes no silicato do que propriamente à ação do silício. Aliás, o efeito deste produto no aumento do pH do solo tem sido reconhecido há muito tempo (TISDALE et al., 1985). A interação positiva do calcário junto ao silicato, em alguns dos ensaios, vem justamente enfatizar tal fato, ou seja, a maior necessidade de carbonato para o aumento da produtividade. Entretanto, é necessário enfatizar que o ácido silícico também tem efeito no aumento do pH do solo, porém com ação bem inferior à do carbonato (ALCARDE e RODELA, 2003). Possível reação do silicato na neutralização da acidez do solo pode ser observada pelas equações a seguir:



Embora nestes experimentos o objetivo tenha sido analisar o aumento de produtividade da cana, deve-se lembrar o possível efeito do silício nas demais características da planta, como aumento da resistência à seca, a doenças, etc.

De qualquer forma, o efeito do silicato é positivo no aumento da produtividade, como tem sido enfatizado na literatura por muitos pesquisadores (JONES, 1967; CASAGRANDE et al., 1981; KORNDÖRFER et al., 1999a, 1999b, 1999c, 2001). Os efeitos da baixa eficiência do silicato em alguns ensaios devem ser atribuídos principalmente à falta de um estudo de calibração do silício no solo ou na planta para que o produto possa ser utilizado com maior segurança. Deste modo, pesquisas devem ser realizadas na busca de calibração segura por meio da análise de solos. Assim, Korndörfer et al. (2003) já alertavam para tal situação, indicando que a base para determinação do teor de silício no solo seria a extração com ácido acético 0,5 M e consideraram como valores baixos de silício os teores menores que 20 mg dm⁻³. Por outro lado, com o advento do corte mecanizado com palha, a ação do silicato deve ser maior que a do calcário na correção química em profundidade quando aplicado sobre a palha, uma vez que este produto é 6,78 vezes mais solúvel que o carbonato de cálcio (0,014 g L⁻¹ contra 0,095 g L⁻¹) (ALCARDE e RODELA, 2003).

Em relação a possíveis usos deste produto em solo de baixa fertilidade, com saturação por bases inferior a 50%, e em solos arenosos e de CTC com valores inferiores a 50 mmol dm⁻³, resultados de pesquisa têm indicado dosagens na faixa de 1,0 t ha⁻¹. A decisão quanto ao uso fica na dependência da relação custo/benefício, em função do calcário.

CONCLUSÕES

A ação do silicato no aumento da produtividade, tanto da cana-planta como da soqueira, tem sido positiva nos solos testados.

A ação positiva deste produto no aumento da produtividade da cana-de-açúcar tem sido atribuída mais ao seu efeito corretivo no solo do que propriamente à ação do silício.

REFERÊNCIAS

- ALCARDE, J. C. **Corretivos da acidez dos solos**: características e interpretações técnicas. São Paulo: ANDA, 1992. (Boletim Técnico, 6).
- ALCARDE, J. A.; RODELLA, A. A. Qualidade e legislação de fertilizantes e corretivos. In: CURTI, N.; MARQUES, J. J.; GUILHERME, L. R. G.; LIMA, J. M.; LOPES, A. S.; ALVARES V., V. H. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. p. 291-334.
- ANDERSON, D. L.; SNYDER, G. H.; MARTIN, F. G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Evergaldes Histosols. **Agronomy Journal**, v. 83, n. 5, p. 870-874, 1991.
- CASAGRANDE, J. C.; ZAMBELLO, E.; ORLANDO FILHO, J. Aplicação de silício em cana-de-açúcar no estado de São Paulo. **Brasil Açucareiro**, v. 98, n. 1, p. 54-60, 1981.
- DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 424 p. (Studies in Plant Science, v. 8).
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 50, p. 641-664, 1999.
- JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 107-149, 1967.
- KORNDÖRFER, G. H.; COLOMBO, C. A.; LEONE, P. L. C. Termofosfato como fonte de silício para a cana-de-açúcar. **Revista STAB**, v. 19, n. 1, p. 34-36, 2000.
- KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E.; CORREA, G. F. Influence of silicon on grain discoloration and upland rice grown in four savanna soils of Brazil. **Journal of Plant Nutrition**, v. 22, p. 93-102, 1999a.
- KORNDÖRFER, G.; PEREIRA, H.; CAMARGO, M. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura**. 2. ed. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2003. (Boletim Técnico n. 1)
- 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. 3, 623-629, 1999b.
- KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 1, p. 101-106, 1999c.
- KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; ULLOA, M.; 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.
- KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Application of silicon enhances resistance of sugarcane to stalk borer *Eldana saccharina* Walker. Proc. 12th Congress Entomological Soc., 1999.
- KEEPING, M. G.; MEYER, J. H. Effects of four sources of silicon on resistance of sugarcane varieties to *Eldana saccharina*. In: **Proceedings of the South African Sugar Technologist Association**, v. 7, p. 99-103, 2003.
- LINDSAY, W. **Chemical equilibria in soils**. New York: John Wiley and Sons, 1979.
- MEYER, J. **Silicon, the cinderella nutrient in cane nutrition?** Midlands Grower Research Report Back Meeting, 2002.
- NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P.; TEIXEIRA, J. L.; LEAL, P. G. L. **Eficiência agrônômica de escórias da siderúrgica Pains**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993.
- OLIVEIRA, A. C.; HAHNE, H.; BARROS, N. F.; MORAIS, E. J. Uso de escória de alto forno como fonte de nutrientes na adubação florestal. In: SEMINÁRIO SOBRE USO DE RESÍDUOS FLORESTAIS E URBANOS EM FLORESTAS, 1., 1994. **Anais...** Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 1994. p. 77-96.
- PIAU, W. C. **Viabilidade do uso de escórias como corretivo e fertilizantes**. 1991. 99 f. Dissertação (Mestrado)—Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.
- RAIJ, B. van; CAMARGO, O. A. Silica solúvel em solos. **Bragantia**, Campinas, v. 32, p. 223-236, 1973.
- ROSSETTO, R.; LIMA FILHO, O. F.; AMORIM, H. V.; TSAI, S. M.; CAMARGO, M. S.; MELONI, A. B. Silicon content in different sugarcane varieties. In: Silicon in Agriculture Conference. 3., 2005, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2005. p. 134.
- TISDALE, S.; NELSON, W.; BEATON, J. **Soil fertility and fertilizers**. 4th ed. London: Macmillan Publishers, 1985. 754 p.
- WAGNEN, D. R. S. **Silício na indução de resistência da cana-de-açúcar à cigarrinha das raízes**. 2007. 94 f. Tese (Mestrado)—Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.