

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA**

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DO SILICATO DE CÁLCIO SOBRE A PRODUÇÃO E
QUALIDADE DA CANA-DE-AÇÚCAR (*SACCHARUM SP*)**

ROBERTO MISSAO NAKAGHI

GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER

(Orientador)

Monografia apresentada ao Curso de
Agronomia da Universidade Federal de
Uberlândia, para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo

Uberlândia – MG

Junho – 2001

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DO SILICATO DE CÁLCIO SOBRE A
PRODUÇÃO E QUALIDADE DA CANA-DE AÇÚCAR (*SACCHARUM
SP*)**

APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA EM 05/06/2001

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndorfer
(Orientador)

Prof. Dr. José Emílio Teles de Barcelos
(Membro da Banca)

Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa
(Membro da Banca)

Uberlândia – MG
Junho - 2001

Agradecimentos

Inicialmente agradeço a Deus, por estar presente em todos os momentos de minha vida, auxiliando-me, permitindo a realização deste sonho.

Agradeço, também, aos meus pais e meus irmãos que me incentivaram, apoiando-me não poupando esforços para ajudar.

Agradeço a pessoas como minha namorada, Ednaldo, Denise, aos meus amigos de sala, que em momentos de dificuldades, durante a condução do experimento não se importaram em me auxiliar e aos meus “irmãos” de República, que me aturaram nos momentos mais difíceis de minha vida universitária.

Agradeço aos meus conselheiros, Professor José Emilio Teles de Barcelos e Professor Gilberto Fernandes Corrêa, que a cada conselho dado, representou uma imensa ajuda.

Finalmente, agradeço a Usina Equipav por dar suporte para que este trabalho se realizasse e àquele que me orientou de forma correta em todas as etapas do meu experimento, garantindo assim, a realização deste trabalho. A você, professor Gaspar, e às demais pessoas que me ajudaram, os meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do silicato de cálcio (CaSiO_3) como fonte de silício (21,1% Si) sobre a qualidade e produtividade da cana planta. O silicato de cálcio foi aplicado em área total e incorporado. O delineamento adotado foi o DBC, com cinco doses de silicato de cálcio (0, 700, 1400, 2800 e 5600 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), e com quatro repetições, totalizando 20 parcelas. Avaliou-se o teor de brix, pol da cana, pol do caldo, pureza do caldo, açúcar redutor total, fibra da cana, lsc, pcc e ágio do colmo, além do teor de Si da folha e produção da cana planta. Os resultados permitem concluir que: as doses de silicato de cálcio afetaram significativamente a produção de colmos; com base no cálculo de máxima eficiência econômica, chegou-se à conclusão de que 2700 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de silicato de cálcio é a dose ideal para se ter maior lucro nas áreas estudadas (fazendas Santa Clara, Barreiro e Amoreira); e que o silicato de cálcio, de modo geral, não afetou a qualidade da matéria prima, nem tão pouco a produção de açúcar.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	5
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1 Localização.....	11
3.2. Solo.....	11
3.3. Parcelas.....	12
3.4. Delineamento experimental e tratamentos.....	13
3.5. Plantio, instalação e condução.....	13
3.6. Avaliações.....	14
3.7. Análise foliar.....	15
3.8. Terminologias.....	16
4. RESULTADO E DISCUSSÃO.....	18
4.1. Fazenda Barreiro.....	18
4.2. Fazenda Amoreira.....	22
4.3. Fazenda Santa Clara.....	27
4.4. Dose de máxima eficiência técnica e econômica.....	28
5. CONCLUSÃO.....	31
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	32

1. INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar (*Saccharum sp*) ocupa posição de destaque no cenário agrícola do Brasil e no mundo, sendo utilizada para a produção de açúcar e álcool. Nas últimas décadas, através do Programa Nacional do Álcool - “pró-álcool” (1975) e o crescente aumento da exportação de açúcar, ocorreu uma enorme expansão da área plantada.

A área plantada de cana em 1999 correspondia a mais de quatro milhões e meio de hectares, com uma produção de mais de trezentos e trinta milhões de toneladas de cana, (Agrianual, 2000) o que mantém o Brasil como um dos maiores produtores; mas a produtividade é baixa em relação a outros países.

No atual momento, pesquisadores tentam buscar uma solução para resolver a baixa produtividade. É sabido que a baixa produtividade está relacionada com a alta incidência de pragas e doenças na cultura, manejo inadequado e baixa fertilidade do solo. Um dos fatores que podem contribuir para melhorar estes índices é o uso do silicato de cálcio. Os cultivos sucessivos provocam uma redução do silício disponível no solo, conseqüentemente, a deficiência de silício (Si) na planta.

O Si é um mineral que se encontra em grande abundância na crosta terrestre, porém é um dos elementos menos estudados sob o ponto de vista de nutrição de plantas. Pesquisas demonstram, que o Si tem apresentado grande importância, no que diz respeito à melhoria da produção de certas culturas. Isso pode ser atribuído, ao aumento da capacidade fotossintética e à maior tolerância à falta de água, que este elemento promove, em geral, às plantas.

O pouco conhecimento, a respeito da utilização do Si na agricultura dificulta a sua utilização como fertilizante. Apesar do nutriente não ser considerado essencial, tem surtido alguns efeitos benéficos em certas gramíneas. A sua utilização na cultura da cana-de-açúcar pode trazer inúmeros benefícios, ao nível de produção e melhoria na qualidade de matéria prima.

Na busca de resultados mais precisos para a utilização do silicato de cálcio (CaSiO_3), avaliamos o efeito do mesmo, como fonte de silício na produção e qualidade dos colmos, na cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.)

2. REVISÃO DE LITERATURA

O Si vem se apresentando como um elemento de grande importância para o desenvolvimento de certas culturas. O Si é o segundo elemento mais abundante no solo, 27% em massa, superada apenas pelo oxigênio. É encontrado somente em formas combinadas, como a sílica e minerais silicatados. Cerca de 80% dos minerais das rochas ígneas e metamórficas são silicatos, enquanto em rochas sedimentares o conteúdo é menor (JACKSON, 1964). Os silicatos são sais nos quais a sílica é combinada com oxigênio e outros elementos, como Al, Mg, Ca, Na, Fe, K e outros em mais de 95% das rochas terrestres (cerca de 87% em massa), meteoritos, em todas as águas, atmosfera, vegetais e animais.

O Si geralmente não é considerado integrante do grupo de elementos essenciais ou funcionais para o crescimento das plantas. No entanto, o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas (arroz, cana-de-açúcar, sorgo, milheto, aveia, trigo, milho, grama kikuyu, grama bermuda, etc) e algumas espécies não gramíneas (alfafa, feijão, alface,

tomate, e repolho) têm mostrado aumentos de produtividade com o aumento da disponibilidade de Si às plantas (ELAWAD & GREEN, 1979; SILVA, 1973) e por (KONDÖRFER, G. H & DATNOFF, 1995).

Segundo MIYAKE & TAKAHASHI (1985) as plantas podem ser classificadas em três tipos, quanto à absorção de Si:

- Acumuladoras, com um teor bastante elevado de Si, sendo a absorção ligada à respiração aeróbica. O arroz e a cana-de-açúcar são exemplos típicos deste grupo de plantas;
- Não acumuladoras, caracterizando-se por um baixo teor do elemento, mesmo com altos níveis de Si no meio, indicando um mecanismo de exclusão. Exemplo típico é o tomateiro, que acumula a maior parte do Si absorvido, nas raízes;
- Intermediárias, as quais apresentam uma quantidade considerável de Si, quando a concentração do elemento do meio é alta.

Da mesma maneira como ocorre com o P, Ca e Mg, o ciclo do Si possui um elevado dreno abiótico, impedindo uma alta abundância na biosfera. Um dos drenos abióticos no solo é a reação do ácido silícico com o Al, formando hidroxialuminossilicatos (HAS). Os HAS podem ser considerados como precursores amorfos da imogolita, um aluminossilicato mineral encontrado em diferentes tipos de solos. A condensação de ácido silícico e a polimerização subsequente, formando a sílica biogênica, representa uma perda elevada de ácido silícico da biosfera. O surgimento e o aumento de organismos formadores de sílica têm contribuído com uma redução significativa na concentração de ácido silícico no meio ambiente, (EXLEY, 1998).

O ácido silícico biosférico que é perdido para os drenos bióticos e abióticos, pode ser compensado pela natureza, por meio de sua abundância na crosta terrestre. Entretanto, em ecossistemas específicos, o problema da diminuição do Si pode se tornar economicamente importante. Solos utilizados intensivamente, principalmente com culturas acumuladoras de Si, podem se tornar paulatinamente deficientes no elemento, pois a exportação do Si não é compensada, via de regra, com a fertilização (FILHO et al., 1999).

O Si e outros inúmeros elementos, são provenientes de um processo industrial, no qual eles são tidos como resíduo, ou seja, escória industrial. E, como toda e qualquer empresa que gera resíduo, interessa a solução de um problema: sua eliminação; e para a coletividade interessa esta eliminação feita sob moldes técnicos adequados onde o meio receptor não sofra e nem contamine com esta prática (ALOISI, 1995). Para tal, inúmeras pesquisas estão sendo desenvolvidas, tentando buscar a melhor maneira de se aplicar o nutriente, nas diversas culturas acumuladoras de Si, aqui em especial a cana-de-açúcar.

Mesmo sabendo que as funções do Si na cana-de-açúcar ainda não foram completamente esclarecidas, é certo, que o elemento desempenha um papel importante na produtividade desta cultura (PREEZ, 1970). ANDERSON et al. (1992) citam ainda que não foi possível demonstrar a essencialidade do Si como nutriente para a cana-de-açúcar, porém o autor o considera um elemento fundamental.

O Si aumenta o poder de oxidação das raízes das gramíneas tornando baixa a toxidez de Fe e Mn, também reduz temporariamente as doenças transmitidas pelos insetos, e aumenta a resistência das plantas ao déficit hídrico, além de aumentar eficiência da utilização de P em solos cujo pH são baixos (PLUCNETT, 1972; ELAWAR & GREEN, 1979). A aplicação de Si antes do plantio pode reduzir ou mesmo eliminar o uso de

fungicidas durante o ciclo do arroz, e aumentar a produtividade da cana-de-açúcar em mais de 40% (KORNDÖRFER, 1997). Já GURGEL apud SILVA (1993), verificou um aumento de 6% na produção de cana-planta e 16% na cana soca, cultivadas em latossolo roxo, com adição de 3 toneladas de silicato de cálcio por hectare.

Uma fonte de Silício para ser recomendada precisa apresentar, além de elevado desempenho agrônômico, uma alta solubilidade, alta concentração de Silício, facilidade de manuseio e, principalmente, baixo custo (KORNDÖRFER, G. H & GASCHO, G. J.).

DATNOFF (1998) cita que cultivos repetidos podem reduzir os níveis de Si disponível para as plantas, ao ponto que a adubação com este elemento será necessária afim de que boas produções sejam alcançadas. O mesmo autor afirma que solos com baixos teores de Si são normalmente ácidos e com baixa saturação de bases.

Visto a necessidade de certas culturas pelo mineral e que este apresenta resultados significativos no aumento da produtividade, temos a necessidade de determinar e quantificar alguns parâmetros ainda meio obscuros.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização

O experimento foi instalado e conduzido em três fazendas da usina Equipav (Fazenda Barreiro, Fazenda Amoreira e Fazenda Santa Clara), localizadas no município de Lins-SP, no período de abril de 1997 a agosto de 1998.

3.2. Solo

Os solos em todos os locais foram classificados como Latossolos Vermelho-Escuros, e apresentavam-se bem preparados, com homogeneidade; com baixo teor de umidade; e relevo levemente inclinado. Foi feita uma análise química prévia do solo das três áreas, cujos resultados estão apresentados no quadro 1.

As mudas apresentaram as mesmas características quanto à qualidade (boa), porém sem tratamento térmico e sem tratamento com fungicida. Para cada fazenda foi utilizada uma variedade: fazenda Barreiro, variedade SP80-1842; fazenda Amoreiras, variedade RB855036; e fazenda Santa Clara, variedade RB72454.

Tabela 1. Características químicas e físicas dos solos estudados (antes do experimento).

	Faz. Barreiro		Faz. Amoreira		Faz. Santa Clara	
	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm
Profundidades	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm	0-20cm	20-40cm
pH (CaCl ₂)	6,2	5,80	4,70	4,50	4,50	4,20
Mat. Org. (g/100cm ³)	0,7	0,60	0,40	0,40	0,50	0,30
S-SO ₄ (µg/ cm ³)	9,10	6,90	3,30	5,60	4,20	6,20
P (µg/ cm ³)	1,30	1,10	5,40	6,30	6,10	5,40
K (meq/100 cm ³)	0,26	0,21	0,07	0,05	0,08	0,04
Ca (meq/100 cm ³)	1,50	1,40	0,20	0,24	0,28	0,12
Mg (meq/100 cm ³)	0,20	0,50	0,10	0,10	0,10	0,22
H+Al (meq/100 cm ³)	1,00	0,80	1,20	1,20	1,20	1,20
Al (meq/100 cm ³)	0,04	0,03	0,07	0,10	0,05	0,22
SB (meq/100 cm ³)	1,96	2,11	0,37	0,39	0,46	0,38
CTC (meq/100 cm ³)	2,96	2,91	1,57	1,59	1,66	1,58
V (%)	66,22	72,51	23,57	24,53	27,71	24,05
m (%)	2,00	1,00	16,00	20,00	10,00	37,00

Obs.: P e K extraídos com HCL 0,05N + H₂SO₄ 0,025N; Al⁺¹, Ca⁺² e Mg⁺² extraídos com KCl 1N; M.O. – Método Walkley-Black.; SB=Soma de Bases; T=Capacidade de troca Cátions pH 7,0; V=Saturação por Bases; m=Saturação por Alumínio; M.O. =Matéria Orgânica.

Análises realizadas no Laboratório de Análises de Solos do Instituto de Agronomia/UFU.

3.4. Parcelas

As parcelas eram compostas de 5 linhas espaçadas de 1,40m entre linhas, com 12m de comprimento totalizando uma área de 84m². Foi feita calagem nas 2 fazendas: Barreiro e Santa Clara onde foram aplicados 21kg e 12,6kg respectivamente de calcário(CaCO₃) por parcela, inclusive na testemunha, o que corresponde a 2,5t/ha e 1,5t/ha de calcário(CaCO₃). A calagem foi realizada com o principal objetivo de fornecer cálcio para a cana, de modo que se pode isolar o efeito do silício proveniente do silicato de cálcio. Deste modo, o cálcio proveniente do silicato não deve interferir na sua resposta, já que os teores de cálcio foram aumentados com a calagem e estão a níveis satisfatórios. Ainda foi feita uma adubação (NPK), com a fórmula 4-10-10, na dose de 1020L/ha nas fazendas Barreiro e Santa Clara. Já na fazenda Amoreira foram aplicados 300m³/ha de vinhaça e 20t/ha de torta de filtro.

3.4. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento utilizado nas três fazendas foi o de blocos casualizados (DBC), com 5 tratamentos e 4 repetições, (nas fazendas Barreiro e Santa Clara tiveram repetições perdidas em algumas das variáveis analisadas).

Os tratamentos foram compostos por uma testemunha, na qual não foi empregado o composto silicato de cálcio (CaSiO_3), e 4 diferentes doses de silicato de cálcio, portanto, o experimento foi composto de 5 tratamentos: 0; 5,88; 11,76; 23,52 e 47,04 kg/parcela de silicato de cálcio (CaSiO_3), equivalente a 0; 700; 1400; 2800 e 5600 kg/ha de silicato de cálcio (CaSiO_3). O silicato foi distribuído a lanço em área total e incorporado 30 dias antes do plantio.

A fonte de silício (silicato de cálcio CaSiO_3) apresentou as seguintes características químicas: SiO_2 total (45,2%); Si (21,1%); SiO_2 solúvel em ácido cítrico (31,8%); e físicos: de cor acinzentado-verde e poroso. Apresenta na sua composição; 91% de silicato de cálcio; 1% de óxidos de Al, Fe, Mg e K e 2,85% de sais de Flúor.

3.5. Plantio, instalação e condução.

O plantio foi feito distribuindo-se manualmente os colmos nos sulcos, na proporção de 10 a 12 t/ha, cruzando pé com ponta e fazendo a picação em toletes o efeito de dominância apical.

As pragas e doenças foram mantidas a níveis de tolerância, e as plantas daninhas foram controladas com a aplicação de herbicida, conforme a espécie.

Todos os tratos culturais realizados basearam-se em dados obtidos em análises prévias. Após interpretação dessas análises, tomaram-se todas as medidas cabíveis para a manutenção de condições ideais para o desenvolvimento da cana-de-açúcar, além de manter a cultura isenta de plantas daninhas, insetos, etc.

3.6. Avaliações

Foi feita análise foliar, onde foram coletadas folhas aos 8 meses após o plantio, coletaram-se 20 folhas “+1” de cada parcela, ou seja, 20 folhas do primeiro dewlap visível. Essas folhas foram lavadas em água corrente, retiram-se a nervura central e foram colocadas para secar em estufa a 65°C. Este material foi mantido em estufa até atingir peso constante. Após a seca, o material foi moído e colocado em saquinhos plásticos, identificados e posteriormente os materiais foram submetidos à análise para determinar a concentração (%) de silício na folha.

Para a avaliação da dose de máxima eficiência técnica (MET), utilizou-se da derivada da equação de regressão:

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2, \text{ obtendo-se } Y = a_1/2 a_2$$

A dose de máxima eficiência econômica (MEE), foi obtida através da equação do polinômio do 2º grau, que tem sido preferido pelos engenheiros agrônomos e economistas para representar o efeito de fertilizantes sobre a produção de culturas; a facilidade de sua manipulação matemática justifica a sua escolha para ilustrar conceitos básicos.

O polinômio foi representado por:

$$Y = a_0 + a_1X + a_2X^2$$

A equação ajustada aos dados fica sendo:

$$Y = 129.877 + 0.0086894X - 0.0000012634X^2$$

A dose mais econômica é calculada com base na derivada da equação tornando-a igual à relação de custos unitários de adubo (c), que foi estipulado em R\$0.06 por kg e o valor de produto (v) estipulado em R\$28.00 por tonelada, ou seja:

$$dy/dx = a_1 + 2^a_2X = c/v$$

A dose mais econômica:

$$X' = \{a_1 - (c/v)\}/2 (-a_2)$$

3.7. Análise foliar

As análises de Si nas plantas de cana foram feitas segundo o método descrito por ELLIOTT & SNYDER (1991) adaptado. Pesou-se 0,1000g da amostra (tecido foliar moído e sem a nervura) colocando em tubos plásticos. A seguir adiciona-se 2 ml de H₂O₂ (30% ou 50%) agita-se levemente, e adiciona 3 ml de NaOH (1:1) agitando levemente. Logo após tampa-se os tubos e os colocam na autoclave, por 1 hora a 123°C e 1,5 atm. de pressão. Após a digestão, foi adicionado 45 ml de água destilada de modo a completar o volume para 50 ml.

O material foi deixado em repouso até que os resíduos se depositassem no fundo do frasco. Retira-se uma alíquota de 20 ml do material digerido e adiciona-se 2 ml de molibdato de amônio (1:5) [(NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O:água destilada] para formar o ácido sílico-molíbico [H₄(SiMo₁₂O₄₀)]. Para que este complexo se forme, tem-se que abaixar o pH deixando entre 1,0 e 2,0. Para isso, adicionou-se HCl (50%) em proporções iguais ao volume da alíquota. Por fim, adicionou-se 2 ml de ácido-oxálico (75g de (COOH)₂.2H₂O) para eliminar a interferência do P e do Fe.

A leitura do material foi feita no Espectrofotômetro Micronal-Espectrofotômetro B-380 no comprimento de onda de 410 nm. Primeiramente fez-se à leitura da curva padrão, que foi obtida de uma solução pura de estoque de 1.000 mg/dm³. Esta solução foi posteriormente diluída para 200 mg/dm³ e a partir desta foi feita outra diluição, obtendo os seguintes valores: 0; 2; 5 e 10 mg/dm³ de silício. A partir destes valores obtemos um gráfico, ao qual o cálculo da inclinação da reta (“slope”) foi feito matematicamente com o auxílio dos dados fornecidos pelo gráfico. O cálculo da concentração de silício foi feito utilizando a seguinte fórmula:

$$\% \text{ Si} = \text{Valor da leitura (absorbância)} \times \text{Slope} \times 500/10000$$

Obtemos assim a concentração de silício nas folhas da cana-de-açúcar.

Durante a colheita foram feitas amostragens de colmos, para a avaliação da qualidade da matéria prima (análise tecnológica). Onde foram determinados os teores de brix, pureza do caldo, açúcares redutores da cana, pol da cana e do caldo, ágio, PBU, LSC, fibra da cana, açúcares redutores da cana e produção de açúcar. Essas determinações foram feitas segundo a metodologia descrita por FERNANDES (1981) e pela COOPERSUCAR (1980).

3.8 Terminologias

As terminologias utilizadas pela usina e pelos produtores, segundo FERNANDES, 2000.

Açúcares Redutores: tem sido empregado para designar os açúcares glucose e frutose, principalmente que apresentam a propriedade de reduzir o cobre do estado cúprico a cuproso.

Brix: expressa a porcentagem peso dos sólidos solúveis contidos em uma solução pura de sacarose, ou seja, mede o teor de sacarose na solução.

Fibra: é a matéria insolúvel em água contida na cana.

Pol na cana: a pol determinada por sacarimetria no caldo, pode ser expressa em porcentagem de cana através de fórmula utilizando a fibra %. Devido aos erros da determinação da fibra, juntamente com a precisão da amostragem, as diferenças entre pol na cana, tornam-se insignificantes em escalas de rotina.

Pureza: é a porcentagem de sacarose contida nos sólidos solúveis, sendo denominada “pureza real”.

PBU: peso úmido do bagaço da prensa.

Açúcares recuperáveis totais: constituem um dos parâmetros do sistema de pagamento de cana implantado em São Paulo a partir da safra de 1998/99, que representa a quantidade de açúcares redutores totais recuperados (ART) da cana até o xarope, ou seja, é obtido pela diferença entre o ART da cana e as perdas na lavagem de cana, bagaço final das moendas, torta de filtro e indeterminadas, considerando-se uma eficiência média padrão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fazenda Barreiro

Análise tecnológica

Com base nas Tabelas 1 e 2, observa-se que as variáveis pol da cana, pol do caldo, brix do caldo, açúcar recuperável total e LSC, apresentaram respostas significativas à adição de silicato de cálcio. Nas demais variáveis não houve resposta significativa.

Nota-se, na Tabela 1, que com o aumento das doses de silicato, tem-se o aumento significativo da concentração (%) do pol da cana planta. Esse aumento é de 5,4% da maior dose (5.600 kg.ha^{-1}) sobre a testemunha. Tem-se uma elevação na ordem de 5,4% na produção de açúcar.

Analisando a Tabela 1, observa-se, que em relação à testemunha, com o aumento das doses de silicato de cálcio no solo, temos um aumento significativo no pol do caldo, na ordem de 6% da maior dose (5.600 kg.ha^{-1}) sobre a testemunha.

Com base nos dados da tabela 1, observa-se que não houve uma resposta significativa, da aplicação do silicato de cálcio, com relação à pureza do caldo. O silício, não está influenciando na qualidade do caldo, com aumento de sólidos solúveis e sacarose.

Com relação ao brix observa-se, que houve resposta significativa, porém, observamos que ocorre uma incoerência entre os dados, ou seja, com o aumento das doses de silicato de cálcio, ocorreu um acréscimo no teor do brix e logo após um decréscimo, tornando o resultado pouco provável.

Nota-se que com o aumento das doses de silicato de cálcio, tem-se um aumento significativo da concentração do açúcar recuperável total, como se observa na tabela 2. O crescimento da concentração é de 2% da dose máxima (5.600 kg.há^{-1}) sobre a testemunha.

A Tabela 2 mostra, que não houve resultado significativo em relação à fibra, com o aumento da dose de silicato de cálcio, o que é bom, já que o aumento da fibra, prejudica a extração das moendas e aumenta as perdas no bagaço (COPERSUCAR).

O álcool (LSC) teve um aumento significativo com o aumento das doses de silicato de cálcio, como demonstra a tabela 2. Esse aumento foi de 6,5% da dose máxima (5.600 kg.ha^{-1}) sobre a testemunha.

Na Tabela 2, verifica-se que não houve resultado significativo com o aumento das doses de silicato, em relação ao peso úmido do bagaço.

E finalmente, o ágio não apresentou resposta significativa, com o aumento das doses de silicato de cálcio aplicado ao solo, como mostra a tabela 2.

Tabela 1 – Análise tecnológica da cana planta (média dos tratamentos de 3 repetições), da variedade SP 80-1842, realizado aos 13° mês pós plantio da cana.

DOSE	POL	POL	PUREZA	BRIX
SILICATO	CANA	CALDO	CALDO	CALDO
kg.ha ⁻¹	%	%	%	%
0	14,9	17,3	89,9	19,2
700	15,3	18,5	90,1	20,2
1400	14,9	17,3	90,2	19,2
2800	13,9	15,8	88,1	17,9
5600	15,7	18,3	90,9	20,2
PROBABILIDADE	4,6	2,0	71,4	0,7
CV %	3,9	4,5	2,8	2,9

Tabela 2 – Análise tecnológica da cana planta (média dos tratamentos de 3 repetições), da variedade RB 80-1842, realizado no 13° mês pós plantio da cana.

DOSE	AÇUCAR	FIBRA	ALCOOL	PBU	AGIO
SILICATO	RECUPERÁVEL	CANA		AÇÚCAR	
	TOTAL				
kg.ha ⁻¹	%	%	L.t ⁻¹	kg.t ⁻¹	*
0	15,9	10,9	71,1	124	29
700	16,1	12,3	74,9	136	33
1400	15,7	10,9	71,0	127	30
2800	14,6	9,8	64,6	119	18
5600	16,2	11,6	75,7	131	36
PROBABILIDADE	5,0	24,8	0,8	22,6	14,7
CV %	3,5	11,4	3,8	6,5	26,5

* sem unidade

Silício na folha

De acordo com os resultados demonstrados na tabela 3, podemos observar que não houve resposta significativa nos teores foliares da cana planta, mesmo tendo um acréscimo na concentração de silício na folha de até 66% na dose de 700 kg.ha⁻¹ sobre a testemunha, o teste não mostrou uma resposta significativa.

Produção de colmo

Com base nos dados da Tabela 3, podemos observar que houve resultado significativo no item produção de colmos. Esse aumento foi de 18 t.ha⁻¹ da dose de 2800 kg.ha⁻¹ sobre a testemunha, ou seja, um acréscimo de 12.5%.

O efeito do silício na cana-de-açúcar pode estar relacionado à maior resistência ao acamamento e a alterações na arquitetura da planta. Plantas adubadas com silício possuem as folhas mais eretas e, em consequência disso mais eficientes quanto à capacidade de absorção da luz solar e de realizar fotossíntese. Já FARIA (2000) diz que o Silício pode aumentar a resistência das plantas ao estresse hídrico.

Produção de açúcar

Com base nos dados, produção de açúcar, na Tabela 3, observamos que não houve resultado significativo. Apesar dos dados apresentarem uma tendência de aumento na produção do açúcar, a análise mostrou que este aumento não foi suficiente para dar uma diferença significativa.

Tabela 3 – Análise tecnológica cana planta (média dos tratamentos de 4 repetições) com resultados de Silício na folha (8° mês pós plantio da cana) e produção de colmos e açúcar, da variedade RB801842, avaliados no 13° mês pós plantio da cana (Faz. Barreiro)

DOSE SILICATO	PRODUÇÃO		
	SI FOLHA	COLMOS	AÇÚCAR
kg.ha ⁻¹	g/kg	t.ha ⁻¹	
0	8,0	144	20,7
700	13,3	153	23,0
1400	10,4	154	23,1
2800	11,5	162	21,3
5600	11,0	151	22,7
PROBABILIDADE	25,8	5,6	77,1
CV %	28,9	12,5	12,9

4.2 FAZENDA AMOREIRA

Análise tecnológica

Podemos observar pelos dados das tabelas 4 e 5, que apenas as variáveis açúcares redutores da cana, brix do caldo, fibra da cana e PBU, tiveram resultados significativos à adição do silicato de cálcio ao solo; as demais variáveis não tiveram resposta significativa.

Na Tabela 4, observa-se que, não houve uma resposta significativa do pol da cana ao aumento das doses de silicato de cálcio. Observando os dados, nota-se que, houve uma tendência de aumento, mas, muito baixa, que não foi suficiente para dar significância.

Não houve uma resposta significativa do pol do caldo ao aumento das doses de silicato de cálcio, analisando o dados da Tabela 4, observa-se que, esta afirmação se confirma, já que nenhum dos tratamentos superou a testemunha.

Na Tabela 4, observamos que houve uma resposta significativa dos açúcares redutores ao aumento das doses de silicato de cálcio. Esse aumento foi de 145% na dose de 2.800 kg.ha⁻¹ sobre a testemunha.

Com base nos dados da Tabela 4, observa-se que não houve uma resposta significativa, da aplicação do silicato de cálcio ao solo, com relação à pureza do caldo. As doses crescentes de silício, não estão influenciando na qualidade do caldo, com aumento de sólidos solúveis.

Observando os dados da Tabela 4, constata-se que houve resposta significativa na aplicação de silicato de cálcio. Com o aumento crescente das doses de silicato no solo, obteve-se um aumento na concentração de brix caldo de 2% da maior dose sobre a testemunha.

Nota-se que com o aumento das doses de silicato de cálcio, não houve um aumento da concentração do açúcar recuperável total, como se observa na Tabela 4. Os dados apresentam uma tendência de aumento, mas esse aumento não foi suficiente para dar uma resposta significativa, talvez pela alta heterogeneidade dos dados coletados.

Analisando os dados da Tabela 4, tem-se que, houve resultado significativo com o aumento da dose de silicato de cálcio, mas essa diferença causada pelo silicato é de redução da concentração de fibra da cana, em até 19.5% da testemunha em sobre a dose de 2800 kg.ha⁻¹, isso traz benefício para a moenda, já que, a fibra prejudica a moenda e aumentas as perdas no bagaço.

Observando os dados do álcool (LSC), vê-se que este não teve um aumento significativo com o aumento das doses de silicato de cálcio no solo, como demonstra a Tabela 4. Os dados demonstram uma tendência de aumento, mas talvez essa tendência não foi suficiente para demonstrar a diferença.

Na Tabela 4 verifica-se que, houve resultado significativo com o aumento das doses de silicato no solo, em relação ao PBU. Porém essa diferença é de redução do PBU em até 12%, o que acarretaria numa diminuição do açúcar.t⁻¹.

O ágio não apresentou resposta significativa, com o aumento das doses de silicato de cálcio aplicado ao solo, como mostra a Tabela 4. Apresenta até uma tendência de crescimento, porém insuficiente para dar uma resposta significativa.

Tabela 4 – Análise tecnológica da cana planta (média das 4 repetições), da variedade RB855536, realizado no 16° pós plantio (Faz. Amoreira)

DOSE SILICATO	POL CANA	POL CALDO	AÇUCARES REDUTORES CANA	PUREZA CALDO	BRIX CALDO
kg.ha ⁻¹	%	%	%	%	%
0	15,3	18,8	0,51	86,4	21,5
700	14,5	17,3	0,89	86,9	20,2
1400	15,3	18,2	1,00	87,1	20,9
2800	15,9	18,7	1,25	89,3	20,9
5600	15,6	18,6	1,04	84,9	21,9
PROBABILIDADE	52,1	56,2	2,6	25,1	3,7
CV %	6,8	7,2	28,8	2,9	3,1

Tabela 5 – Análise tecnológica da cana planta (média das 4 repetições), da variedade RB855536, realizado no 16° mês pós plantio (Faz. Amoreira)

DOSE	AÇUCAR	FIBRA	ALCOOL	PBU	AGIO
SILICATO	RECUPERÁVEL	CANA		AÇÚCAR	
	TOTAL				
kg.ha ⁻¹	%	%	L.t ⁻¹	kg.t ⁻¹	*
0	36,5	14,1	73,0	148	30
700	35,2	12,7	75,5	138	24
1400	37,1	12,5	75,4	136	29
2800	37,9	11,8	77,3	132	37
5600	37,5	12,2	77,2	136	36
PROBABILIDADE	11,7	1,7	89,9	2,3	30,4
CV %	3,8	6,7	9,1	4,1	28,1

* sem unidade

Silício na folha

De acordo com os resultados demonstrados na Tabela 6, houve efeito do silicato aplicado ao solo sobre a concentração de silício na folha.

Com a adição de silicato de cálcio ao solo, houve um aumento na disponibilidade de silício e conseqüente aumento na absorção do mesmo pela planta, passando de 4,1% na testemunha para 5,1% de silício na repetição de máxima dose 5.600kg/ha, ou seja, um aumento de 24.5%.

Produção de colmos

Houve resultado significativo das doses aplicadas ao solo sobre a produção de colmos, como podemos observar na tabela 6. O aumento foi de 7% da dose de, 2.800 kg.ha⁻¹ sobre a testemunha, ou seja, um aumento de 9 t.ha⁻¹.

O efeito do silício na cana-de-açúcar pode estar relacionado à maior resistência ao acamamento e a alterações na arquitetura da planta. Plantas adubadas com silício possuem as folhas mais eretas e, em consequência disso mais eficientes quanto à capacidade de absorção da luz solar e de realizar fotossíntese. Já FARIA (2000) diz que o Silício pode aumentar a resistência das plantas ao estresse hídrico.

Produção de açúcar

Com base nos dados da tabela 6, observa-se que não houve resultado significativo da adição de silicato ao solo sobre a produção de açúcar. Analisando os dados observa-se a tendência de aumento, mas talvez, devido esse dado ser obtido de duas outras variáveis (produção de colmos e Pol da cana), onde o Pol não teve uma resposta significativa ao silício, pode ter comprometido a produção de açúcar.

Tabela 6 – Análise tecnológica cana planta (média dos 4 tratamentos) com resultados de Silício na folha, produção de Colmos e Açúcar, da variedade RB855536, safra 1998 (Faz. Amoreira).

DOSE SILICATO	Si folha	PRODUÇÃO	
		COLMOS	AÇÚCAR
kg.ha ⁻¹	%	t.ha ⁻¹	
0	0,41	128	19.6
700	0,43	134	19.4
1400	0,41	136	20.8
2800	0,47	137	21.7
5600	0,51	135	21.1
PROBABILIDADE	5,5	10,8	30,3
CV %	8,7	4,0	8,2

4.3. Fazenda Santa Clara

Silício na folha

O silício na folha não teve uma resposta significativa ao aumento das doses de silicato de cálcio no solo. Pode-se notar uma tendência de aumento na concentração (%) de silício na folha, como demonstra a Tabela 7, mas esse aumento (de 22% da máxima dose sobre a testemunha) não foi suficiente para dar uma resposta significativa aos tratamentos. Tal fato pode ser explicado, pelo aumento da produção de colmos, o que pode ter diluído a concentração do silício na planta, camuflando os dados.

Produção de colmos

Com base na Tabela 7, observa-se que houve resposta significativa à aplicação de silicato de cálcio no solo sobre os dados produção de colmos. O aumento foi da ordem de 18 t.ha⁻¹ da dose de 2.800 kg.ha⁻¹ sobre a testemunha, ou seja, um acréscimo de 16% na produção de colmos.

Tabela 7 – Análise tecnológica cana planta (média das 4 repetições) com resultados de Silício na folha e produção de Colmos, da variedade RB72454, safra 1998 (Faz. Santa Clara).

Dose de silicato	Silício na folha	Produção de colmos
kg.ha ⁻¹	%	t.ha ⁻¹
0	0,49	114
700	0,59	126
1400	0,59	127
2800	0,59	132
5600	0,60	131
PROBABILIDADE	22	9
CV %	12,6	12,5

4. 4 Doses de máxima eficiência técnica

A dose de máxima eficiência técnica ou DMET, é a dose do fertilizante, que tem o melhor desempenho em produção. A cana-de-açúcar como todas as demais culturas existentes, possuem uma tendência de aumentando a quantidade do fertilizante a ser fornecida, tem-se um aumento da produção, porém, vai chegar em um dado momento que, aumentando a dose do fertilizante a cultura não terá mais um crescimento de sua produção, por tanto a DMET, é aquela dose onde ainda se tem uma resposta positiva da cultura. A partir desta dose a produção começa cair.

A Figura 1 apresenta as curvas das produções de colmos das três Fazendas (Amoreiras, Barreiro e Santa Clara), em função das doses de silicato de cálcio. Observa-se que, a produção esta aumentando e a partir de um dado momento começa a diminuir, é neste momento que temos a DMET de cada uma das Fazendas, como mostra a figura.

Nota-se, que a dose de máxima eficiência agrônômica da fazenda Amoreiras esta por volta dos 3450 kg.ha⁻¹ de silicato de cálcio, a fazenda Barreiro em 3130 kg.ha⁻¹ de silicato de cálcio e da Santa Clara em 3830 kg.ha⁻¹ de silicato de cálcio (figura 1). As três propriedades apresentaram DMET diferentes. Tal fato pode ser explicado devido ser três locais diferentes, devido a fertilidade do solo, variedade, manejo, dentre outras.

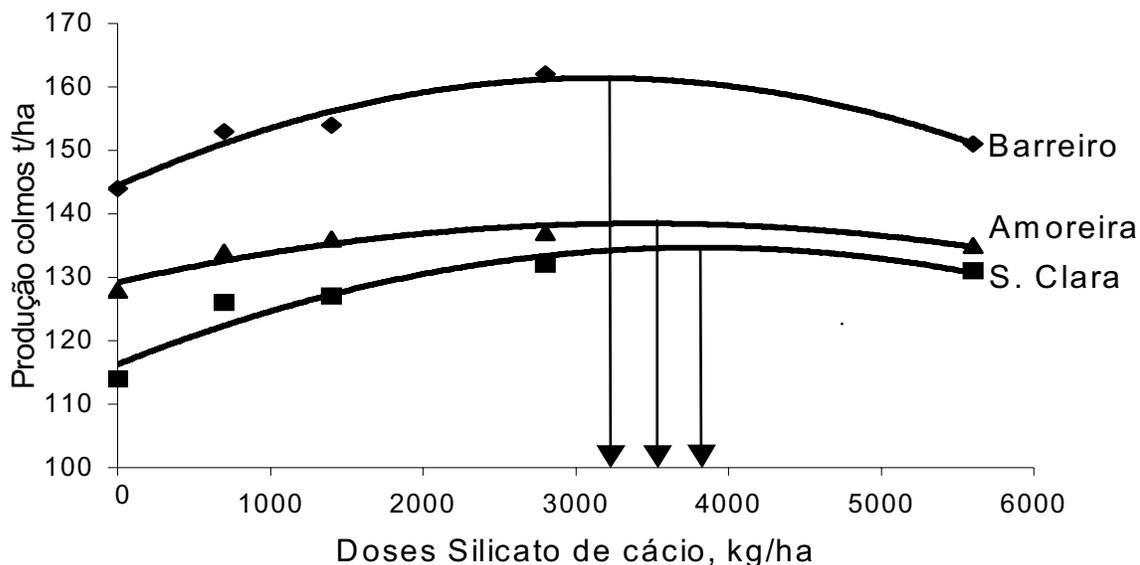


Figura 1 – Produção média de colmo de cana planta em três locais (Fazendas: Amoreira, Barreiro e Santa Clara) em função das doses de silicato aplicados antes do plantio, e suas respectivas doses de máxima eficiência técnica.

4.5 Média (três fazendas) das doses de máxima eficiência técnica e econômica.

A dose de máxima eficiência econômica ou DMEE baseia-se no princípio dos incrementos decrescentes, ou seja, de que à aplicação de quantidades ou incrementos crescentes de fertilizantes correspondem aumentos cada vez menores de produção. A dose mais econômica corresponde àquela quantidade de adubo acima da qual o valor do aumento de produção não supera o custo do fertilizante.

A Figura 2 demonstra a curva de produção (média das três fazendas), em função das doses de silicato de cálcio. No gráfico percebe-se que a DMEE está em torno de 2.700 kg.ha⁻¹ de silicato de cálcio. Esta é, portanto, a dose de máxima eficiência econômica.

Utilizando a média de produção de colmos das três propriedades, temos que a DMET é de 3440 kg.ha⁻¹ de silicato. Fazendo uma comparação da DMET com DMEE,

temos que a diferença é de $750 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de silicato de cálcio, o qual, seria adicionado ao solo, mas a produção não seria suficiente para pagar o fertilizante.

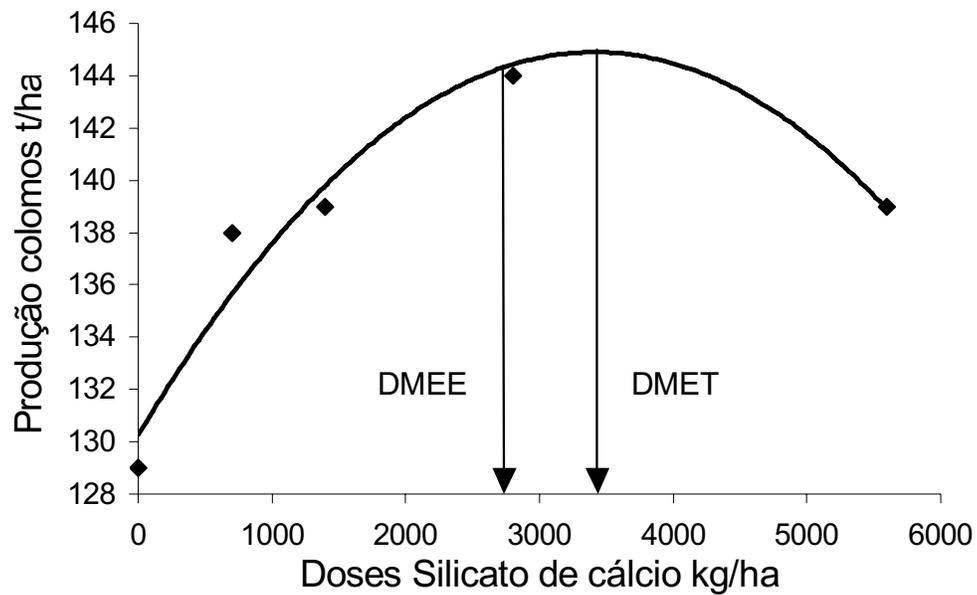


Figura 2 – Produção de colmos de cana planta, utilizando a média dos três locais (Fazendas: Amoreira, Barreiro e Santa Clara) em função das doses de silicato, aplicados antes do plantio. Representação da dose de máxima eficiência técnica e econômica.

6 CONCLUSÃO

Nas condições deste trabalho, os resultados permitem concluir que:

1 - O silicato de cálcio, afeta de maneira significativa a produção de cana planta.

Com base no cálculo da dose de máxima eficiência econômica, recomenda-se o uso de 2.700 kg.ha⁻¹ de silicato de cálcio para as fazendas estudadas.

2 – O silicato de cálcio, de um modo geral, não afetou a qualidade da matéria prima, nem tão pouco a produção de açúcar.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFIA

ALOISI, R.R. Deposição de resíduos da indústria cítrica em solos de textura média. Piracicaba, 1995. p.252. Tese (Livre Docente). ESALQ/USP.

ANDERSON D.L.; SNYDER, G.H.; WARREN, J.D. Availability of phosphorus in calcium silicate slag. **Com. In Soil Sci. And plant Analysis**. V. 23, n. 9-10, p. 907-918. 1992.

DATNOFF, L. E.; RAID, R. N.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. *Plant Diseases*, v. 75, p.729-732, 1998.

ELAWAD, S.H. & GREEN Jr., V. E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. *Revista IL RISO*, Milano, v. 28, p. 235-253, 1979.

ELLIOTT, C.L.; SNYDER, G.H. Autoclave – Induced digestion for the colorimetric determination of silicon in rice straw. *J. Agric. Food. Chem.* n. 39, p.1118-1119. 1991.

EXLEY, C.; CHAPPELL, J.S.; CORREA, F.J.; WINSLOW, M.D.; OKADA,

K.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. Silicon deficiency of unland rice on highly weathered savanna soils in Colombia. I. Evidence of a major yield constraint. In: **CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E PARA O CARIBE**, 9., Goiânia, 1994.

JACKSON, M.L. Chemical composition of soils. In: BEAR, S.E. (ed.). **Chemistry of the soil**. 2.ed. New York: Reinhold, 1964. p.71-141.

GURGEL, R. M. Solutions minerals and equilibria. San Francisco, Freeman Cooper, 1965. 450p apud SILVA, J. A. Plant, mineral nutrition. Yearbook of science and technology. McGraw-Hill Book Co., 1983.

KORNDORFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício uma alternativa no controle de doenças de cana-de-açúcar e do arroz. *Informações Agronômicas*, n.70, p.1-3, 1995.

KORNDORFER, G. H. & GASCHO, G. J. **Avaliação de fontes de silício para o arroz**. Disponível em : < <http://www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/Fontes%de20Si/Fontes%20de%20Si.htm>>. Acesso em 20 jan. 2001.

KORNDÖRFER, G. H.; SNYDER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação do silício baseada na calibração da análise do solo e planta e dinâmica do elemento no solo. **Projeto de Pesquisa-CAPES**, 1997, p. 6-10.

LIMA FILHO, O. F. O silício na agricultura. *Informações Agronômicas*, 87:1-2, set./99.

MYIAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of soybean plants in a solution culture. *Soil Science and Plant Nutrition*, v.31, p.625-636, 1985.

PLUCNETT, D.L. The use soluble silicate in Hawaiian agriculture. **Univ. Of Queensland Papers**, v (1), n. 6, P.203-230, 1972.

PREEZ, P. The effect of sílica on cane growth. **The South African Sugar Tcnologists's Association. Proceedings.** P.183-188, june,1970.