

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTA DA SEGUNDA SOQUEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR
À APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NA PRESENÇA E AUSÊNCIA
DE SILÍCIO**

Bernardo Melo Montes Nogueira Borges
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Fevereiro de 2012

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**RESPOSTA DA SEGUNDA SOQUEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR
À APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NA PRESENÇA E AUSÊNCIA
DE SILÍCIO**

Bernardo Melo Montes Nogueira Borges

Orientador: Prof. Dr. Renato de Mello Prado

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Fevereiro de 2012

B732r Borges, Bernardo Melo Montes Nogueira,
Resposta da segunda soqueira da cana-de-açúcar à aplicação de
nitrogênio na presença e ausência de silício / Bernardo Melo Montes
Nogueira Borges. – Jaboticabal, 2012
x, 49 f.56 : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012
Orientadora: Renato de Mello Prado
Banca examinadora: Miguel Ângelo Mutton, João Chrisóstomo
Predoso Neto.
Bibliografia

1. *Saccharum spp.* 2. Adubação nitrogenada. 3. Calcário. 4.
Silicato. 5. Cana-soca. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias.

CDU 633.61;631.84

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: RESPOSTA DA SEGUNDA SOQUEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR À APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE SILÍCIO

AUTOR: BERNARDO MELO MONTES NOGUEIRA BORGES

ORIENTADOR: Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. RENATO DE MELLO PRADO

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Prof. Dr. JOÃO CHRISOSTOMO PEDROSO NETO

Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais / Uberaba/MG

Prof. Dr. MIGUEL ANGELO MUTTON

Departamento de Produção Vegetal / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 24 de fevereiro de 2012.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

BERNARDO MELO MONTES NOGUEIRA BORGES – nascido em Uberaba, Minas Gerais, aos 10 dias do mês de Junho de 1987, filho de Guilherme Nogueira Borges e Solange de Melo Montes Nogueira Borges. Formado em engenharia agrônômica pelas Faculdades Associadas de Uberaba - FAZU no ano de 2010, em Uberaba, MG. Durante a graduação foi bolsista de iniciação científica durante 24 meses, na EPAMIG - Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - com bolsa cedida pela FAPEMIG, Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais, sendo também monitor das disciplinas de Genética, Química I e II e Bioquímica. No mesmo ano, no mês de agosto, ingressou no curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - UNESP, Campus de Jaboticabal, sendo bolsista da CAPES por 18 meses. Realizou atividades de estágio docência na disciplina de Nutrição de Plantas, participa do Grupo de Estudos GENPLANT, atuando como colaborador em projetos de pesquisa.

“A ética norteia o sucesso e destaca a competência.”

Solange de Melo Montes Nogueira Borges

Aos meus queridos pais, Guilherme e Solange, por acreditar, pelo exemplo de dedicação e pelo apoio incondicional.

Aos meus nobres irmãos Mariana e Guilherme pela amizade e cumplicidade.

Ofereço e Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade das conquistas.

À minha família pelo interminável apoio.

À FCAV/UNESP e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), pelo suporte à realização dos trabalhos.

Ao Prof. Dr. Renato de Mello Prado, por ter me orientar como aluno de pós-graduação, pela disposição de sempre, pelos ensinamentos, pelo incessante acompanhamento do trabalho, pelas conversas e conselhos.

Aos membros da banca de qualificação, Prof. Miguel Angelo Mutton e Prof. João Chrisóstomo Pedroso Neto, pelas sugestões e melhorias.

Ao Prof. Dr. José Carlos Barbosa, pela disponibilidade e pelos ensinamentos de estatística que tanto me foram úteis na elaboração desse trabalho.

À Prof^a. Dra. Mara Cristina Pessoa da Cruz, pela disposição de sempre na ajuda das análises laboratoriais.

Aos Professores e funcionários da FCAV, especialmente os do Departamento de Solos e Adubos, pelo apoio e disposição sempre oferecida, de maneira especial a Cláudia, Dejair, Luiz, Cheirinho, Celinha, Gomes e Mauro.

Aos colegas de GENPLANT, Ivana, Marcus, Édson, Lucas, John Lennon, Bruno e Gabriela, em especial ao Thiago, Rilner, Hilário, Jonas e Isabella, nas colaborações em campo e laboratório, em que sem eles a proposta de término antecipado não seria possível.

Aos funcionários da Fazenda da FCAV, em especial ao Marcelo Scatolin, pela disposição em ajudar, sempre da melhor maneira.

À Usina São Martinho e seus funcionários, por toda logística na colheita, a qual, sem eles, seria impossível realizar.

Aos meus “Irmãos” da República Ranchão, Barna, Bilau, Beiço, Pingado, Perdigão, Mutilado, Ravengar, Ogro, Vida-loka, Quaiada e Fivela pela nem sempre silenciosa, mas sempre sincera e divertida convivência. Gostaria de agradecer também por terem me aceitado como novo membro da família.

Aos amigos de velha data, mesmo que distantes sempre presentes em suas palavras de apoio.

Aos amigos e colegas de pós-graduação, que se tornarão também de longa data, inesquecíveis e sempre presentes, pela ajuda, pelas risadas e pelas madrugadas de estudos, todos se sintam aqui abraçados e parte dessa conquista.

À CAPES e a FAPESP, pelo apoio financeiro na realização do projeto de pesquisa.

Enfim, a todos que tornaram essa conquista mais prazerosa e possível, aos citados aqui e aos amigos que torceram por mim, minha gratidão e disponibilidade eterna.

Muito Obrigado por tudo, sempre!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	xii
SUMMARY	xiii
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Importância da cultura da cana-de-açúcar	3
2.2. Adubação nitrogenada	4
2.3. Silicato de cálcio e magnésio	6
2.4. Interação nitrogênio e silício.....	8
III. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Local do experimento	11
3.2. Cultura e características da área experimental	11
3.3. Dados pluviométricos	12
3.4. Tratamentos e delineamento experimental	13
3.5. Unidade experimental	14
3.6. Avaliações de crescimento, desenvolvimento, produção e análise tecnológica	14
3.7. Avaliações de solo	16
3.8. Avaliação do estado nutricional e acúmulo	17
3.9. Análises estatísticas.....	17

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1. Efeitos dos tratamentos no solo	18
4.2. Efeitos dos tratamentos na nutrição e acúmulo.....	22
4.3. Efeitos dos tratamentos no desenvolvimento e na produção de colmos	26
4.4. Efeitos dos tratamentos na qualidade tecnológica	30
V. CONCLUSÕES.....	32
VI. REFERÊNCIAS	33

RESPOSTA DA SEGUNDA SOQUEIRA DA CANA-DE-AÇÚCAR À APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NA PRESENÇA E AUSÊNCIA DE SILÍCIO

RESUMO – O sistema de colheita da cana-de-açúcar sem despalha a fogo acumula palha na superfície do solo e pode alterar o manejo do nitrogênio na cultura, especialmente com uso do silício. Objetivou-se avaliar os efeitos da aplicação de nitrogênio em cobertura associado ao silicato e calcário nas propriedades químicas do solo, no estado nutricional e na produção da soqueira de cana-de-açúcar. O experimento foi desenvolvido na segunda soqueira de cana-de-açúcar com colheita sem despalha a fogo, cultivada em Latossolo Vermelho distrófico. Os tratamentos foram constituídos de doses de nitrogênio 0; 40; 80; 120 e 160 kg ha⁻¹ na forma de ureia, e duas fontes de materiais corretivos, silicato de cálcio e magnésio (presença de Si) e calcário (ausência de Si). Foram avaliados os efeitos dos tratamentos nos atributos químicos do solo, no desenvolvimento, produção de massa seca, nutrição, produtividade e na qualidade tecnológica da segunda soqueira. O uso do nitrogênio associado aos corretivos não afetou a fertilidade do solo, entretanto, o uso do silicato aumentou o teor de Si do solo aos 12 meses após a brotação da cana-de-açúcar. As variáveis de desenvolvimento não foram afetadas pela aplicação dos tratamentos, exceto número de colmos na época da colheita, apresentando aumento na presença do silício. As doses de N e os corretivos não afetaram o estado nutricional da cultura, porém influenciaram o acúmulo de N e Si na planta. As doses de N, independentemente do uso do silicato, aumentaram a produtividade da soqueira da cana-de-açúcar, todavia, não afetaram a qualidade tecnológica.

Palavras-Chave: *Saccharum spp.*, adubação nitrogenada, calcário, silicato, cana-soca

SECOND SUGARCANE RATOON RESPONSE TO NITROGEN APPLICATION IN THE PRESENCE AND ABSENCE OF SILICON

SUMMARY - The sugarcane harvest system without burning accumulates trash at the soil surface and can modify the culture nitrogen management especially with silicon application. The objective was to evaluate the effects of the nitrogen application associated to the silicate and to lime at the nutritional status, yield and the soil chemical properties at the second sugarcane ratoon. The experiment was carried out at the second sugarcane ratoon harvested without burning the trash, cultivated in an Oxisol. The treatments were constitute of nitrogen rates 0; 40; 80; 120 and 160 kg ha⁻¹, urea, and two sources of corrective materials, calcium and magnesium silicate (presence of Si) and lime (absence of Si). Were evaluated the treatment effects at the soil chemistry attributes, sugarcane development, dry matter plant nutrition, productivity and yield, and the technological quality of the second sugarcane ratoon. The use of nitrogen associated to the use of silicate and lime did not affect the soil fertility, however, the use of silicate increased the soil silicon content 12 months after sugarcane sprouting. The development variables were not affect by the application of the treatments, except for number of culms at the harvesting period, showing increase at silicon presence. The N rates and the correctives did not affect the culture nutritional status, yet they affected the N and Si accumulation in the plant. The N rates independently of the use of silicate increased the sugarcane ratoon yield, though, did not affect the technological quality.

Keywords: *Saccharum spp.*, nitrogen fertilization, lime, silicate, sugarcane ratoon.

I. INTRODUÇÃO

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar sem queima prévia mantém grande quantidade de palha na superfície do solo. Como a cana-de-açúcar é uma planta semiperene, e possibilita vários cortes sem replantio, é importante acompanhar os benefícios gerados para a cultura por essa palha acumulada com o decorrer dos anos (VITTI et al., 2007).

A cobertura do solo gerada pela palha aumenta a infiltração de água no solo, diminui a erosão e a evaporação, aumenta capacidade de troca catiônica do solo e é fonte de nutrientes, pois existem relatos de que parte do nitrogênio absorvido pela planta provém do nitrogênio mineralizado da palha da cana-de-açúcar (GAVA et al., 2003).

Assim, neste novo sistema de produção da cana-de-açúcar existem poucas informações sobre a dinâmica do nitrogênio no sistema solo-planta referente ao cultivo das soqueiras da cana-de-açúcar (COSTA et al., 2003; GAVA et al., 2001), e são poucos trabalhos no Brasil, restritos em LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (PRADO & PANCELLI, 2008; BRITO et al., 2009) e NITOSSOLO (BASANTA et al., 2003).

A importância do nitrogênio na nutrição das plantas e no crescimento e na produção é conhecida. Entretanto, o excesso desse nutriente pode promover acentuado desenvolvimento vegetativo da parte aérea, diminuindo a resistência ao acamamento, causando autossombreamento, aumento da succulência das plantas, aumento da suscetibilidade a pragas e doenças (MARSCHNER, 1995). Estes efeitos do excesso do nitrogênio nas plantas podem ser evitados pelo uso do silício na adubação. Este fato pode ocorrer devido ao conhecido efeito do Si nas plantas, conferindo rigidez aos tecidos melhorando sua arquitetura (MAUAD et al., 2003a; PRADO, 2008b; 2009; BASTO et al., 2010).

As fontes importantes de silício na agricultura são as escórias de siderurgia, constituídas basicamente de silicatos de cálcio e magnésio, que são materiais corretivos da acidez do solo e fonte de cálcio e magnésio (QUAGGIO, 2000; PEREIRA

et al., 2010). Na literatura existem poucos trabalhos com silício em soqueira de cana-de-açúcar, especialmente envolvendo a sua interação com nitrogênio, havendo um estudo em cana-planta em condições de campo (FONSECA, 2011), o que é motivo de preocupação quando se objetiva maior eficiência da nutrição nitrogenada.

Diante disto, a hipótese do trabalho baseou-se no fato de que a resposta da soqueira da cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio pode ser aumentada quando associada ao uso do silicato. Objetivou-se então avaliar os efeitos da aplicação de nitrogênio em cobertura associado ao silicato e calcário nas propriedades químicas do solo, no estado nutricional e na produção da soqueira de cana-de-açúcar.

II. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância da cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.* L.) é uma planta perene da família Poaceae, que se desenvolve em touceiras, sendo a parte aérea formada por colmos, folhas e inflorescências, e a subterrânea formada por raízes e rizoma (ARALDI, 2010). A cana-de-açúcar fixa em torno de 100 mg de CO₂ por dm² de área foliar por hora. Assim, produz elevada quantidade de matéria seca, em um período de 365 dias, obtendo-se uma taxa de crescimento médio de 18 g m⁻² dia⁻¹ (PAULA et al., 2010).

A área cultivada com cana-de-açúcar no Brasil da safra 2010/2011 foi de 8.033,6 mil hectares, com a produção atingindo 623.905 mil toneladas e produtividade de 77.446 kg ha⁻¹ (CONAB, 2012).

No cenário atual de aproveitamento das potencialidades nacionais, frente a um ambiente externo favorável, a competitividade da cana-de-açúcar para fins energéticos é o principal fator da expressiva expansão da produção do etanol, até com excedentes exportáveis, podendo-se prever um aumento na produção de derivados da cana-de-açúcar, com foco para a biomassa destinada a geração de energia elétrica. Nestas condições a cana e seus derivados passariam a ser a segunda maior fonte de energia em 2030, com 18,5%, perdendo apenas do petróleo e seus derivados (TOLMASQUIM et al., 2007).

O Brasil pode aumentar sua utilização de energia de biomassa, com potencial para a diversificação da energia, destacando a cana-de-açúcar uma dessas fontes produtoras de biomassa (RA et al., 2012). Em pauta, existe grande parte da área agricultável disponível para a implantação de plantações para fins energéticos, com impacto limitado na produção de alimentos (GOLDEMBERG & MOREIRA, 2005).

De acordo com SILVA et al. (2008) as operações de colheita da cana-de-açúcar podem ser classificadas em três subsistemas: manual, semimecanizado e mecanizado. Tal classificação deve-se ao fato da existência de um sistema global que envolve o

corte e o carregamento, o transporte e a recepção da matéria-prima. O subsistema mecanizado diferencia-se pelas operações de corte, carregamento e transporte ocorrerem exclusivamente por meio de máquinas.

Na colheita mecanizada de cana-de-açúcar existem algumas peculiaridades relacionadas às interações solo-máquina-planta, que têm causado preocupações, como as perdas de cana no campo, a redução da qualidade da matéria-prima e a redução da longevidade do canavial (SALVI et al., 2007).

O manejo da cultura de cana-de-açúcar vem sendo transformado nos últimos anos, motivado pela legislação ambiental em que se prevê a redução progressiva da queima dos canaviais até sua completa extinção em 2031 (Lei estadual nº 11.241/02). Nesta nova prática de colheita da cana sem queima – cana crua – a palha é deixada na superfície do solo. Com a manutenção de camada de material vegetal no sistema podem ser obtidas muitas vantagens para o solo, porém, com esse volume de palha pode ser dificultada a emergência da cana-soca, com falhas na rebrota, como também aumento da incidência de pragas na cultura (SOUZA, 2008).

2.2. Adubação nitrogenada

Os vários papéis do N na formação da colheita das culturas ocorrem pelo fato que este elemento participa de vários compostos, como proteínas, e ativação e composição de todas as enzimas. Diante disto este macronutriente induz na cana-de-açúcar aumento no perfilhamento, crescimento vegetativo e a produtividade da cultura. No entanto, o excesso desse elemento pode provocar um menor armazenamento de sacarose nos colmos, uma vez que esqueletos carbônicos são gastos para aumentar a vegetação (MALAVOLTA, 2006b), sendo as proteínas importantes pelo seu papel plástico, formativo dos tecidos, pelas suas funções de reserva e também funções enzimáticas que muitas proteínas exercem, composta por nitrogênio (MALAVOLTA, 1967).

Diante da importância do N para a cana-de-açúcar, o fornecimento deste nutriente deve atender à exigência da cultura. PRADO (2008b) relata que na cultura da cana-de-açúcar são exportados pela colheita 90 kg ha^{-1} de N pelos colmos e 60 kg ha^{-1} de N pelas folhas; em trabalho realizado por OLIVEIRA et al. (2004), a parte aérea da cana-de-açúcar extraiu 179 kg ha^{-1} de N.

Para atender à exigência nutricional da cana-de-açúcar é importante o uso dos fertilizantes nitrogenados, pois os solos tropicais apresentam baixa disponibilidade de N (RAIJ, 2011), e a fixação biológica de N em soqueira é relativamente baixa contribuindo pouco para o fornecimento deste nutriente (PINHEIRO et al., 2010). Diante disto, existem indicações de que a soqueira cultivada em sistema conservacionista tem apresentado resposta a aplicações de nitrogênio (RA et al., 2012).

Os fertilizantes nitrogenados aplicados ao solo promovem várias transformações químicas e microbianas que podem resultar em perdas para os vegetais. Neste contexto, considerando o custo dos adubos nitrogenados, é fundamental o desenvolvimento de manejos adequados da adubação nitrogenada que visem ao melhor aproveitamento do N pela cultura da cana-de-açúcar (FRANCO, 2008).

O sistema de colheita sem despalha a fogo poderá evitar perdas do N contido nas palhas, pois a maior parte do N contido nas folhas secas é perdida por volatilização ou na forma de aerossóis durante a queima do canavial. Portanto, o manejo sem despalha a fogo, potencialmente, conserva nitrogênio no sistema, sendo disponível às plantas ao longo do termo (FORTES et al., 2011). Entretanto, os resultados de mineralização do N desses resíduos revelam que a liberação é lenta, variando entre 3 a 30% durante o ciclo seguinte da cultura (FRANCO et al., 2007).

Em trabalho realizado a campo em que a palhada foi coletada logo após a colheita da cana-de-açúcar, mecanizada, e antes da colheita seguinte, observou-se redução de 20% da massa original; o nitrogênio, por sua vez, sofreu uma pequena mineralização, 18%, portanto, a maior parte do nitrogênio permaneceu na palhada (OLIVEIRA et al., 1999). PINHEIRO et al. (2010) relataram que os teores de nitrogênio no solo são maiores nos cultivos em que a palha é deixada sobre o solo, entretanto isso ocorreu após 14 anos de cultivo.

ROBINSON et al. (2007) relatam que há possibilidade da redução da adubação nitrogenada na cultura da cana-de-açúcar, em que alguns cultivares responderam igualmente bem tanto em altas quanto em baixas doses de N, isto relativo a eficiência interna de utilização de nitrogênio. Alguns estudos sobre adubação nitrogenada em cana-de-açúcar demonstram que esta cultura responde com maior produção de colmos (BRITO et al., 2009), entretanto o rendimento de açúcar não é afetado (SHEKINAH et al., 2012).

BASANTA et al. (2003) citam que a quantidade de N exportada na segunda soca em cana queimada foi 28% a mais do que o N exportado no sistema de colheita sem despalha a fogo. Portanto, o sistema de produção conservacionista de cana-de-açúcar que tem acúmulo de palha é uma fonte de nitrogênio de disponibilidade lenta à cultura e, gradualmente, a colheita da cana-crua proporciona uma eficiência na reciclagem do N, podendo, assim, reduzir a quantidade de N-fertilizante aplicado.

O emprego de quantidades altas ou baixas de fertilizantes nitrogenados para a cana-de-açúcar pode prejudicar a nutrição da planta e refletir na produtividade da cultura. O Si presente na escória de siderurgia pode amenizar esses efeitos causados pela falta e/ou excesso da adubação nitrogenada.

2.3. Silicato de cálcio e magnésio

No ano de 2009 foram produzidos no Brasil 10 milhões de toneladas de resíduos da indústria siderúrgica (IAB, 2010). As escórias siderúrgicas já são usadas como corretivos de acidez nos Estados Unidos e Japão, apresentando, também, aumento na disponibilidade de silício, fósforo, cálcio e magnésio, redução na toxidade do ferro, manganês e alumínio no solo e incremento do valor pH (PEREIRA et al., 2004; PEREIRA, et al., 2010), melhorando a fertilidade do solo (CORREIA & ALLEONI, 2011). Como os preços do silicato são relativamente baixos, comparados a outros insumos, pode-se alcançar ótima relação custo/benefício (PRADO & NATALE, 2005). Salienta-se que a melhor relação custo/benefício é encontrada em plantas que são mais eficientes em acumular silício (DEREN et al., 1993).

O silício encontrado no silicato de cálcio e magnésio é considerado elemento benéfico, contribuindo para o crescimento e a produção, melhorando as condições físicas, físico-químicas e químicas desfavoráveis ao ambiente de cultivo (MALAVOLTA, 2006a). Os efeitos benéficos do silício em cana-de-açúcar mostram que esse elemento deve ser tratado como parte integral de práticas de adubação associadas ao cultivo de cana-de-açúcar (KINGSTON et al., 2005).

O silício é importante em reações de armazenamento de energia ou na manutenção da integridade estrutural, sendo comumente encontrado no tecido vegetal na forma de ésteres-silicato (TAIZ & ZEIGER, 2009).

O silício pode aumentar a resistência da planta ao ataque de insetos herbívoros (KVEDARAS et al. 2009). O tratamento com Si reduziu significativamente o dano causado pela broca; em média os danos foram reduzidos em 34% nas cultivares suscetíveis de cana-de-açúcar e 26% nas cultivares resistentes (KEEPING & MEYER, 2006).

A cana-de-açúcar absorve em um ano aproximadamente 380 kg ha⁻¹ de Si, destacando-se como elemento mais absorvido pela planta (SAVANT et al., 1999), tendo maior teor nas folhas (1,0 - 2,0%) em relação ao bagaço (0,3 - 0,5%) da cana-de-açúcar (MALAVOLTA, 2006a).

Em plantas acumuladoras de silício, sua essencialidade ainda não foi comprovada, mas é conhecido que este elemento não contribui apenas para o enrijecimento da parede celular e seu fortalecimento, mas também aumenta a elasticidade da parede celular durante o crescimento (MARSCHNER, 1995; TAIZ & ZEIGER, 2009). Na cana-de-açúcar os depósitos de silício aparecem na parte interna da célula, em que uma camada adicional também é localizada ao longo da lamela média das paredes radiais (PARRY & KELSO, 1977), e ainda está contido no tecido epidérmico, internódios, radículas e brotos de folhas, onde o silício estava principalmente no internódio e nas radículas, sendo escasso nos tecidos adjacentes (KEEPING et al., 2010).

FOX et al. (1969) relataram que o teor Si solúvel é maior em folhas mais jovens e que o teor de Si total é maior em folhas recém maduras. Estando a folha da cana

madura aparenta haver poucas mudanças no Si total com o tempo, evidenciando que o Si em cana-de-açúcar está relacionado com o crescimento da mesma.

Os estudos com uso de silício na cultura da cana-de-açúcar, mostram que o mesmo não tem promovido aumento na produção de colmos (KORNDÖRFER et al., 2000), entretanto em outros trabalhos nos EUA houve resposta da soqueira da cana-de-açúcar (RAID et al., 1992).

O trabalho realizado por FARIA et al. (2008) indica que o uso do silicato de Ca e Mg promoveu a melhoria das propriedades químicas do solo relacionado à acidez e disponibilidade de nutrientes, mas este efeito não foi suficiente para alterar o estado nutricional das plantas.

PRADO et al. (2003) citam que a escória siderúrgica, quando utilizada como corretivo, pode beneficiar culturas de ciclo longo como a cana-de-açúcar, minimizando a queda de produção no decorrer dos anos. Os autores relatam que houve efeito residual benéfico após 48 meses da aplicação do silicato, na correção da acidez do solo e na elevação da saturação por bases, refletindo na maior produção da cana-soca.

Alguns estudos indicam que resposta pode estar associada com a indução de resistência a fatores bióticos e abióticos, como o ataque de pragas, lixiviação de Al, Mn, e Fe tóxicos, aumento de disponibilidade de fósforo no solo, folhas e colmos mais eretos, resistência a geadas e redução na perda de água pelas plantas (SAVANT et al., 1999). Portanto, o uso de silício pode ser importante nas culturas especialmente pelo fato de minimizar estresses no ambiente de cultivo das plantas.

Nota-se a escassez de trabalhos relativo à aplicação de silício em cana-de-açúcar no Brasil, principalmente nas soqueiras sem despalha a fogo, associado com a adubação nitrogenada.

2.4. Interação nitrogênio e silício

O fornecimento excessivo de nitrogênio normalmente afeta o crescimento vegetativo das plantas, aumentando sua taxa de crescimento, tornando-as mais

suculentas, deixando-as mais suscetíveis a doenças, geadas e acamamento (TROEH & THOMPSON, 2007). Neste sentido, a desordem nutricional em plantas pode provocar prejuízos na produtividade das culturas. Portanto, em sistemas de alta produtividade é importante respeitar as interações dos nutrientes e/ou elementos benéficos que podem ocorrer no vegetal.

De acordo com PRADO (2009), a interação é a influência ou ação recíproca de um nutriente sobre outro, variando em função da proporção dos mesmos, das espécies, das cultivares e do estágio de desenvolvimento do vegetal. Este efeito importante da interação de nutrientes nas plantas é relevante em sistemas de alta produtividade.

A aplicação de materiais corretivos, na forma de silicato, promoveu o aumento do teor foliar de N em cana-de-açúcar, aumentando a produção de matéria seca (BASTO et al., 2010).

GOTO et al. (2005) relataram que o conteúdo de silício na planta de arroz foi correlacionado com o conteúdo de carboidratos, enquanto que o teor de nitrogênio foi correlacionado negativamente com o conteúdo de carboidratos na planta.

As folhas eretas são importantes, afetando a interceptação de luz em altas populações. Para um mesmo cultivar, a quantidade de folhas eretas e seu ângulo diminui com aumento do fornecimento de nitrogênio; assim, o uso do silício neutralizou os efeitos negativos de altas doses de nitrogênio (MARSCHNER, 1995).

De acordo com MALAVOLTA (2006a), o silício torna as folhas mais eretas, tendo várias consequências. A diminuição do auto-sombreamento aumenta a interceptação de luz e a fotossíntese, menor acamamento e maior possibilidade de responder à adubação, principalmente a nitrogenada. A disposição ereta das folhas também torna o ambiente mais arejado, criando condições desfavoráveis ao aparecimento de doenças.

Em trabalho realizado por MAUDA et al. (2003b) foi constatado que o aumento da adubação nitrogenada no arroz propiciou um aumento na produção de matéria seca, produção de grãos e aumento do teor de N e diminuição do teor de Si na planta.

FONSECA et al. (2011), estudando a adubação nitrogenada juntamente com o silicato de cálcio em forrageiras, observaram que houve aumento na produção de

massa seca e na absorção de silício. Observaram também que na presença de silicato houve absorção mais eficiente de N pela planta do que na sua ausência.

Apesar da presença de nitrogênio aumentar a acidez do solo e com isso diminuir a disponibilidade de silício, há um aumento no teor foliar de N e Si quando aplicados em conjunto (VALE et al., 2010).

Diante do exposto, observou-se que o uso do nitrogênio em soqueira pode ser fundamental para atingir alta produtividade da cultura, entretanto, ainda são escassos os trabalhos com emprego associando macronutrientes e silicato, especialmente em sistemas de produção conservacionista.

III. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local do experimento

O experimento foi instalado na Fazenda Ensino, Pesquisa e Produção da FCAV/UNESP, Campus de Jaboticabal-SP, localizada a 610 metros de altitude, coordenadas geográficas 21°15'22" S e 48°15'18" W (Figura 1). O clima é megatérmico seco no inverno (Aw), pelo critério de classificação climática de Köppen. O solo foi classificado por ANDRIOLI & CENTURION (1999) correspondendo a um LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (EMBRAPA, 2006).



Figura 1. Foto da área experimental da segunda soqueira da cana-de-açúcar.

3.2. Cultura e características da área experimental

O experimento foi desenvolvido na segunda soqueira de cana-de-açúcar (variedade RB855156). A presente variedade é classificada como precoce, com corte entre os meses de abril a maio, apresentando média produtividade, sendo recomendada para solos com média fertilidade, com excelente capacidade de brotação em soqueiras, porte médio e adaptável à colheita mecanizada (PMGCA, 2008).

As informações do plantio e dos tratos culturais da cana-planta foram descritos no trabalho de FONSECA (2011). Após o corte da primeira soqueira realizou-se amostragem da palha em 5 pontos, de um metro quadrado cada, na superfície do solo, a fim de determinar a quantidade de palha deixada na área experimental, e determinou-se a massa seca (12 t ha^{-1}). Além disso, realizou-se análise química de solo na camada de 0-20 cm de profundidade após o corte da primeira soqueira, nos tratamentos com silicato e calcário obtendo os resultados pH(CaCl₂): 4,3 e 4,3; M.O.: $14 \text{ e } 14 \text{ g dm}^{-3}$; P-resina: $11 \text{ e } 11 \text{ mg dm}^{-3}$; K: $0,6 \text{ e } 0,6 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Ca: $9 \text{ e } 9 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; Mg: $4 \text{ e } 3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; H+Al: $36 \text{ e } 37 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; SB: $13,4 \text{ e } 12,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; CTC: $49,8 \text{ e } 49,1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$; V%: 27 e 26 (RAIJ et al., 2001); NH_4^+ : $15,2 \text{ e } 15,9 \text{ mg kg}^{-1}$; NO_3^- : $13,7 \text{ e } 13,9 \text{ mg kg}^{-1}$ (CANTARELLA & TRIVELIN (2001); Si: $1,9 \text{ e } 1,7 \text{ mg dm}^{-3}$ (KORNDÖRFER et al., 2004).

3.3. Dados pluviométricos

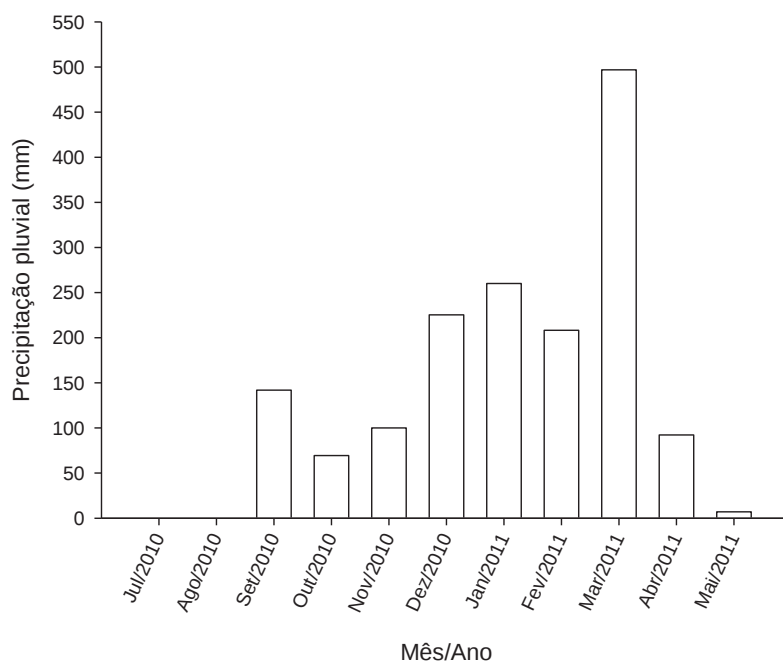


Figura 2. Precipitação pluvial mensal de julho de 2010 à maio de 2011, referente ao período de desenvolvimento da cana-de-açúcar.

A precipitação pluvial total durante o desenvolvimento da segunda soqueira de cana-de-açúcar foi de 1600 mm (Estação Agroclimatológica FCAV/Unesp, 2012).

3.4. Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 5x2, sendo cinco doses de nitrogênio e dois materiais corretivos, o silicato (presença de Si) e calcário (ausência de Si), com quatro repetições. Os tratamentos foram aplicados na cana-planta (safra 2008-2009), primeira soqueira (safra 2009-2010) e repetidos na segunda soqueira (safra 2010-2011), sendo que apenas a última safra refere-se ao presente trabalho.

Na cana-planta foram aplicadas as doses de 0; 30; 60; 90; 120 kg ha⁻¹ de N na forma de ureia (44% de N). Nos tratamentos na ausência e na presença de Si foram aplicados calcário (PRNT = 86,2%, CaO = 41,4% e MgO = 10,6%) e silicato de cálcio e magnésio (PRNT = 72,3%, CaO = 42,1%, MgO = 12,4%, Si total 15%), com a finalidade de elevar V% a 60, aplicando-se 2,19 e 2,61 t ha⁻¹.

Na primeira soqueira as doses de N empregadas foram 0; 40; 80; 120 e 160 kg ha⁻¹ na forma de ureia (44% de N), não sendo feita a aplicação dos materiais corretivos.

As doses de nitrogênio empregadas na segunda soqueira foram iguais às utilizadas na primeira soqueira. A fertilização nitrogenada foi aplicada manualmente em 12/07/2010, aos 15 dias após a brotação da soqueira da cana-de-açúcar, ao lado direito a 10 cm da linha das plantas. Para estabelecer as doses de nitrogênio, a referência foi a dose 120 kg ha⁻¹, indicada para a cana-soca, com meta de produtividade maior que 100 t ha⁻¹ no Estado de São Paulo (SPIRONELLO et al., 1997).

Para estabelecer as doses dos referidos corretivos empregou-se a quantidade necessária para elevar V% a 60, seguindo a recomendação para cana-de-açúcar no Estado de São Paulo (SPIRONELLO et al., 1997). Entretanto, utilizou-se a metade da quantidade devido a aplicação do material ser superficial sem incorporação (ROSSETTO et al., 2004). Nos tratamentos com a ausência de Si, foi aplicado 1,0 t ha⁻¹

de calcário (PRNT = 85,08%; Poder de Neutralização = 99,87%; CaO = 36,40%; MgO = 14,00%), e na presença do silício aplicou-se 0,9 t ha⁻¹ de silicato de cálcio e magnésio (CaO=34,9%; MgO=9,9%; Si=10,5%).

O potássio foi aplicado na forma de cloreto de potássio, na mesma data do fertilizante nitrogenado, de modo uniforme em todos os tratamentos na dose de 150 kg ha⁻¹ K₂O, conforme a recomendação de adubação proposta por SPIRONELLO et al. (1997).

3.5. Unidade experimental

Cada unidade experimental foi composta por quatro linhas de 6 m de comprimento, espaçadas 1,5 m entre si, totalizando uma área de 36 m². Para as avaliações, foi considerada a área útil de 18 m² representada pelas duas linhas centrais, sendo as fileiras externas denominadas bordaduras. As parcelas foram separadas por corredores de 1,5 m.

3.6. Avaliações de crescimento, desenvolvimento, produção e análise tecnológica

Para as avaliações de crescimento e/ou desenvolvimento foi considerado o número de perfilhos em 1,5 m, aos quatro e nove meses após a brotação, bem como a altura (Figura 3) medida da base da planta até a bainha da folha +1, o diâmetro (Figura 4) do colmo, aferido a 4 cm do colo da planta com paquímetro digital, e a produção de colmos obtidos na época da colheita, sendo feita a pesagem de toda a área útil da parcela com o auxílio de uma carregadora e celular de carga.



Figura 3. Foto ilustrando altura de plantas da segunda soqueira da cana-de-açúcar.



Figura 4. Foto ilustrando o diâmetro dos colmos da segunda soqueira da cana-de-açúcar.

Na ocasião da colheita também foi realizada a amostragem para a avaliação da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, que constou de 10 colmos contíguos da linha central de cada parcela. Na análise tecnológica foram determinados sólidos solúveis,

Pol, sendo calculado AR Caldo, AR Cana, ART, Fibra, Pureza e ATR de acordo com a fórmula de 2008, segundo os métodos descritos em CONSECANA (2006).

3.7. Avaliações de solo

No solo, a amostragem foi realizada ao longo do período experimental, a cada seis meses. Para isto, foi realizada a amostragem do solo na entrelinha da cana-de-açúcar (PRADO et al., 2001), tomando 10 pontos por área útil, considerando as camadas de 0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade. As amostras de solo coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos para determinação do teor de N mineral e caixa de papel para posterior análise para fins de fertilidade (Figura 5). As determinações analíticas nas amostras de solo para fins de fertilidade seguiram os métodos descritos por RAIJ et al. (2001) e a concentração de silício “disponível” no solo segundo o método descrito por KORNDÖRFER et al. (2004).



Figura 5. Acondicionamento das amostras de solo coletadas aos 6 e 12 meses após rebrota, da segunda soqueira da cana-de-açúcar.

Em ambas amostragens de solo, imediatamente após a coleta do solo, parte das amostras foi acondicionada imediatamente em caixa térmica contendo gelo e encaminhada ao laboratório para a extração e determinação do NH_4^+ e NO_3^- segundo método descrito por CANTARELLA & TRIVELIN (2001).

3.8. Avaliação do estado nutricional e acúmulo

O estado nutricional das plantas (macronutrientes e micronutrientes) foi determinado a partir da amostragem da folha +1 (folha mais alta com colarinho visível “TVD”), considerando 20 cm centrais, excluindo a nervura central, durante a fase de maior desenvolvimento vegetativo, em janeiro de 2011 (RAIJ & CANTARELLA, 1997), obtendo 10 folhas por parcela.

O nitrogênio e silício acumulados na parte aérea (folha+colmo) da cana-de-açúcar foram determinados separando-se e pesando-se o total de folhas e colmos da área útil. Após a pesagem do material fresco, uma porção de 400 g de cada fração foi seca em estufa (65 °C) até atingir massa constante. A determinação dos teores dos nutrientes no tecido vegetal seguiu a metodologia descrita em BATAGLIA et al. (1983) e a de silício a metodologia descrita por KRASKA & BREITENBECK (2010).

3.9. Análises estatísticas

Aos resultados obtidos foram realizadas análises de variância e nos casos em que o teste F for significativo (PIMENTEL-GOMES & GARCIA, 2002) foram aplicados estudos de regressão polinomial. Para as variáveis de solo, depois de seis e doze meses após a rebrota, realizou-se análise estatística em parcelas subdivididas, sendo os tratamentos principais compostos do fatorial 5x2 [cinco doses de N com escória de siderurgia (presença de Si) e calcário (ausência de Si)] e, os tratamentos secundários constituídos pelas quatro camadas do solo (0-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Efeitos dos tratamentos no solo

Observou-se que as propriedades químicas do solo não foram afetadas pelos tratamentos principais (doses de N e materiais corretivos) aos seis e doze meses após a brotação da soqueira, exceto o teor de Si no solo aos doze meses após a brotação (Tabelas 1 e 2). Notou-se que o uso do silicato em relação ao calcário promoveu maior teor de Si no solo, independentemente das doses de N (Tabela 2). Este aumento no teor de Si no solo em função da aplicação do silicato ocorre pela presença do elemento na sua composição, fato também relatado por PEREIRA et al. (2010) e por FONSECA (2011).

Notou-se que as doses de N não afetaram a concentração do N mineral no solo, fato também constatado por PRIMAVESI et al. (2005) em forrageiras. Este fato pode ter ocorrido devido às perdas do N no solo, por lixiviação, e a alta pluviosidade do período anterior a coleta, 211 mm.

Observou-se que as propriedades químicas do solo foram afetadas pela profundidade do solo em amostragens realizadas aos seis e doze meses após a rebrota da soqueira de cana-de-açúcar, exceto a concentração de NH_4^+ e NO_3^- (Tabelas 1 e 2). Constatou-se maior fertilidade do solo na cama superficial (0-10 cm de profundidade) nas duas amostragens realizadas, pois houve maior valor pH e concentração de M.O., P, K, Ca e Mg que refletiu na soma de bases (SB) e na saturação por bases do solo (V) (Tabelas 1 e 2).

Notou-se ainda que os teores de NH_4^+ e NO_3^- não diferiram nas camadas de 0 até 60 cm de profundidade aos seis e doze meses após brotação da cana-de-açúcar (Tabelas 1 e 2). Estes resultados podem indicar que o nitrogênio mineral pode ter lixiviado para camadas acima de 60 cm diferentemente do relatado por DONAGEMMA et al. (2008), indicando que o amônio movimenta-se com maior facilidade para camadas do solo até 60 cm.

Observou-se que os teores de Si foram maiores na camada subsuperficial (40-60 cm de profundidade do solo), aos seis e aos doze meses após a brotação da cana-de-açúcar (Tabelas 1 e 2). Isto pode ser explicado devido à lixiviação do Si das camadas superficiais (FONSECA, 2011), pois existem indicações que este elemento apresenta mobilidade no solo, uma vez que é encontrado na forma de ácido monossilícico passível de lixiviação (RAIJ, 2011).

Tabela 1. Atributos químicos do solo em função das doses de N e da aplicação de calcário ou silicato, em quatro profundidades, aos seis meses após rebrota da segunda soqueira de cana-de-açúcar.

Tratamentos		pH (CaCl ₂)	M.O. g dm ⁻³	P-resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V %	NH ₄ ⁺ ---mg kg ⁻¹ ---	NO ₃ ⁻ mg dm ⁻³	Si mg dm ⁻³
Tratamentos principais (TP)	Corretivo (C)													
	Calcário	4,3	13,5	11,7	0,8	11,5	3,8	43,9	16,3	60,2	27	19,0	13,3	1,1
	Silicato	4,3	14,1	11,5	0,8	9,6	3,9	47,2	14,4	61,7	24	19,7	12,9	1,4
	Teste F	1,55 ^{NS}	0,04 ^{NS}	0,31 ^{NS}	1,23 ^{NS}	3,18 ^{NS}	0,07 ^{NS}	2,09 ^{NS}	0,89 ^{NS}	0,31 ^{NS}	2,18 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,56 ^{NS}
	Doses de nitrogênio (N)													
	0 (kg ha ⁻¹)	4,3	14,0	12,6	0,7	10,9	4,1	45,8	15,8	61,6	26	18,3	11,8	1,2
	40 (kg ha ⁻¹)	4,3	13,2	10,8	1,0	10,3	3,9	40,9	15,4	56,3	27	19,8	12,9	1,2
	80 (kg ha ⁻¹)	4,4	14,0	10,9	0,9	11,3	4,4	42,3	16,7	59,0	28	19,1	14,5	1,0
	120 (kg ha ⁻¹)	4,2	14,0	11,6	0,8	10,4	3,7	49,7	14,9	64,7	24	20,1	13,3	1,4
	160 (kg ha ⁻¹)	4,2	13,9	11,9	0,7	9,84	3,5	49,0	14,1	63,1	23	19,5	12,9	1,5
	Teste F	1,04 ^{NS}	0,18 ^{NS}	1,43 ^{NS}	1,30 ^{NS}	0,64 ^{NS}	1,52 ^{NS}	1,42 ^{NS}	2,20 ^{NS}	1,21 ^{NS}	1,18 ^{NS}	0,53 ^{NS}	0,83 ^{NS}	0,40 ^{NS}
	Teste F (C) x (N)	0,51 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,40 ^{NS}	0,14 ^{NS}	0,67 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,86 ^{NS}	0,52 ^{NS}	0,37 ^{NS}	0,72 ^{NS}	0,62 ^{NS}	0,15 ^{NS}	0,82 ^{NS}
Tratamentos secundários (TS)	Profundidades (P)													
	0-10 cm	4,4 a	17,2 a	19,1 a	1,6 a	13,8 a	5,1 a	45,2 b	20,8 a	66,0 a	32 a	19,6	12,9	1,1 bc
	10-20 cm	4,3 bc	15,4 b	14,9 b	0,8 b	10,2 b	3,6 b	49,3 a	14,7 b	64,0 a	24 b	19,2	12,3	0,9 c
	20-40 cm	4,2 c	12,0 c	6,8 c	0,5 c	9,4 b	3,3 b	45,3 b	12,7 c	58,0 b	22 b	19,3	12,8	1,3 ab
	40-60 cm	4,3 b	11,0 d	5,4 c	0,4 c	8,9 b	3,5 b	42,5 b	13,3 bc	55,8 b	25 b	19,4	14,3	1,6 a
	Teste F	21,64**	135,56**	160,70**	45,24**	31,23**	29,06**	8,05**	48,57**	27,09**	28,86**	0,18 ^{NS}	0,89 ^{NS}	7,06**
	Teste F (TP) x (TS)	1,26 ^{NS}	0,85 ^{NS}	0,96 ^{NS}	0,75 ^{NS}	1,13 ^{NS}	1,08 ^{NS}	0,79 ^{NS}	1,11 ^{NS}	0,59 ^{NS}	1,28 ^{NS}	0,77 ^{NS}	0,91 ^{NS}	1,24 ^{NS}
	CV _{TP} %	8,5	16,6	29,9	51,7	47,8	51,2	31,6	43,6	19,2	47,6	12,7	47,8	65,9
	CV _{TS} %	3,3	11,9	28,3	49,1	23,6	24,9	13,8	21,7	9,6	20,4	13,3	46,0	54,4

** e ^{NS} – Significativo a 1% de probabilidade e não-significativo, respectivamente, em relação ao teste de F.

Tabela 2. Atributos químicos do solo em função das doses de N e da aplicação de calcário ou silicato, em quatro profundidades, aos doze meses após rebrota da segunda soqueira de cana-de-açúcar.

Tratamentos		pH(CaCl ₂)	M.O. g dm ⁻³	P-resina mg dm ⁻³	K	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC	V	NH ₄ ⁺ ---mg kg ⁻¹ ----	NO ₃ ⁻ mg dm ⁻³	Si
					-----mmolc dm ⁻³ -----						%			
Tratamentos principais (TP)	Corretivo (C)													
	Calcário	4,5	14,7	12,1	0,8	11,9	4,5	37,9	17,3	55,0	31	9,6	9,1	2,2
	Silicato	4,4	14,6	11,0	0,7	10,5	4,4	36,6	15,6	52,4	30	10,2	9,3	2,8
	Teste F	0,20 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,03 ^{NS}	0,27 ^{NS}	1,18 ^{NS}	0,39 ^{NS}	0,28 ^{NS}	0,97 ^{NS}	2,82 ^{NS}	0,21 ^{NS}	0,35 ^{NS}	0,04 ^{NS}	9,94 ^{**}
	Doses de nitrogênio (N)													
	0 (kg ha ⁻¹)	4,4	14,3	10,9	0,7	11,9	4,7	37,1	17,4	54,5	31	9,8	8,8	2,5
	40 (kg ha ⁻¹)	4,5	13,4	10,7	0,8	11,3	4,7	34,7	16,7	51,4	32	10,3	9,8	2,6
	80 (kg ha ⁻¹)	4,5	15,8	11,8	0,7	11,3	4,7	36,3	16,7	52,9	31	10,2	10,0	2,7
	120 (kg ha ⁻¹)	4,3	15,2	12,3	0,7	10,2	3,7	40,6	14,7	55,4	26	9,8	8,5	2,6
	160 (kg ha ⁻¹)	4,5	13,9	12,1	0,8	11,4	4,4	37,6	16,6	54,2	31	9,5	8,7	2,1
	Teste F	1,09 ^{NS}	2,55 ^{NS}	1,95 ^{NS}	0,80 ^{NS}	0,63 ^{NS}	1,33 ^{NS}	2,53 ^{NS}	0,78 ^{NS}	0,90 ^{NS}	1,26 ^{NS}	1,27 ^{NS}	1,05 ^{NS}	1,51 ^{NS}
	Teste F (C) x (N)	0,62 ^{NS}	0,13 ^{NS}	1,38 ^{NS}	0,88 ^{NS}	0,98 ^{NS}	1,19 ^{NS}	0,78 ^{NS}	0,98 ^{NS}	0,44 ^{NS}	0,79 ^{NS}	1,02 ^{NS}	1,14 ^{NS}	0,95 ^{NS}
Tratamentos secundários (TS)	Profundidades (P)													
	0-10 cm	4,5 a	18,3 a	18,2 a	1,1 a	14,2 a	6,0 a	38,5 ab	21,3 a	59,8 a	35 a	10,0	9,0	2,0 b
	10-20 cm	4,4 b	17,0 b	16,5 a	0,8 b	11,7 b	4,6 b	39,9 a	17,1 b	57,0 b	30 b	10,3	9,6	1,9 b
	20-40 cm	4,4 b	13,1 c	6,9 b	0,6 c	9,5 c	3,7 c	36,8 b	13,6 c	50,4 c	29 b	9,7	8,9	2,9 a
	40-60 cm	4,4 b	10,4 d	4,7 c	0,4 d	9,5 c	3,5 c	33,8 c	13,6 c	47,5 d	27 b	9,6	9,0	3,2 a
	Teste F	8,77 ^{**}	145,02 ^{**}	132,80 ^{**}	91,99 ^{**}	18,87 ^{**}	31,56 ^{**}	14,50 ^{**}	27,03 ^{**}	62,08 ^{**}	10,09 ^{**}	0,83 ^{NS}	0,84 ^{NS}	33,12 ^{**}
	Teste F (TP) x (TS)	0,72 ^{NS}	1,48 ^{NS}	0,91 ^{NS}	0,85 ^{NS}	0,76 ^{NS}	1,13 ^{NS}	0,51 ^{NS}	0,83 ^{NS}	0,60 ^{NS}	0,81 ^{NS}	1,20 ^{NS}	0,71 ^{NS}	1,11 ^{NS}
	CV _{TP} %	6,2	12,0	14,6	28,4	38,9	37,6	13,1	36,2	10,2	28,9	25,9	25,6	13,7
	CV _{TS} %	4,0	10,0	32,1	26,1	28,8	28,9	11,6	27,0	8,5	22,5	23,2	23,7	28,4

** e ^{NS} – Significativo a 1% de probabilidade e não-significativo, respectivamente, em relação ao teste de F.

4.2. Efeitos dos tratamentos na nutrição e acúmulo

As doses de nitrogênio aplicadas na soqueira da cana-de-açúcar afetaram significativamente o teor foliar de N, S, Cu e Fe (Tabela 3). Observou-se que a ausência da interação indica que os efeitos do nitrogênio no estado nutricional da soqueira não foram influenciados pelo fornecimento de Si às plantas (Tabela 3).

Os teores de macronutrientes e micronutrientes na folha +1 não diferiram com a aplicação do silicato (Tabela 3), indicando que os efeitos do silicato foram iguais ao do calcário, quanto à disponibilidade desses nutrientes nas plantas (FONSECA et al., 2011). Observou-se que o uso das doses de N incrementou com ajuste linear o teor foliar de N e S independente da aplicação dos corretivos (Figura 6a, b).

Notou-se que a aplicação de N, independentemente da dose, permitiu um teor adequado de N (18 e 25 g kg⁻¹) (RAIJ & CANTARELLA, 1997), exceto o controle (17 g kg⁻¹) ficou abaixo desta faixa e os demais teores de nutrientes encontram-se na faixa considerada adequada, com exceção do enxofre (0,9 a 1,3 g kg⁻¹) que estava abaixo dessa faixa (1,5 e 3,0 g kg⁻¹) indicada pelos mesmos autores.

Tabela 3. Estado nutricional da segunda soqueira de cana-de-açúcar (folha +1).

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----g kg ⁻¹ -----					-----mg kg ⁻¹ -----					
Corretivo (C)											
Calcário	18,0	1,7	11,4	3,9	1,5	1,0	13,2	6,2	60,2	83,1	14,7
Silicato	18,1	1,8	11,4	4,0	1,6	1,1	13,0	6,1	62,5	86,8	14,4
Teste F	0,09 ^{NS}	2,72 ^{NS}	0,02 ^{NS}	1,09 ^{NS}	2,67 ^{NS}	0,10 ^{NS}	0,08 ^{NS}	0,13 ^{NS}	1,73 ^{NS}	0,90 ^{NS}	0,11 ^{NS}
Dose de nitrogênio (N)											
0 (kg ha ⁻¹)	17	1,7	12	3,9	1,5	0,9	13	6	65	86	14
40 (kg ha ⁻¹)	18	1,8	11	3,8	1,5	1,0	14	5	57	80	15
80 (kg ha ⁻¹)	18	1,8	11	3,9	1,6	1,0	15	6	57	80	14
120 (kg ha ⁻¹)	19	1,8	11	4,0	1,6	1,1	12	6	61	86	15
160 (kg ha ⁻¹)	19	1,8	11	4,2	1,7	1,3	12	7	65	93	14
Teste F	2,75*	1,5 ^{NS}	0,32 ^{NS}	0,91 ^{NS}	2,48 ^{NS}	5,55**	2,65 ^{NS}	8,76**	4,18**	1,51 ^{NS}	0,62 ^{NS}
(C)x(N)	0,80 ^{NS}	1,75 ^{NS}	0,56 ^{NS}	0,42 ^{NS}	1,08 ^{NS}	1,47 ^{NS}	0,41 ^{NS}	1,43 ^{NS}	1,01 ^{NS}	0,59 ^{NS}	0,36 ^{NS}
CV%	7,5	5,7	6,3	10,7	10,4	14,1	16,0	14,4	8,8	14,8	19,4

**, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não-significativo, respectivamente, em relação ao teste de F.

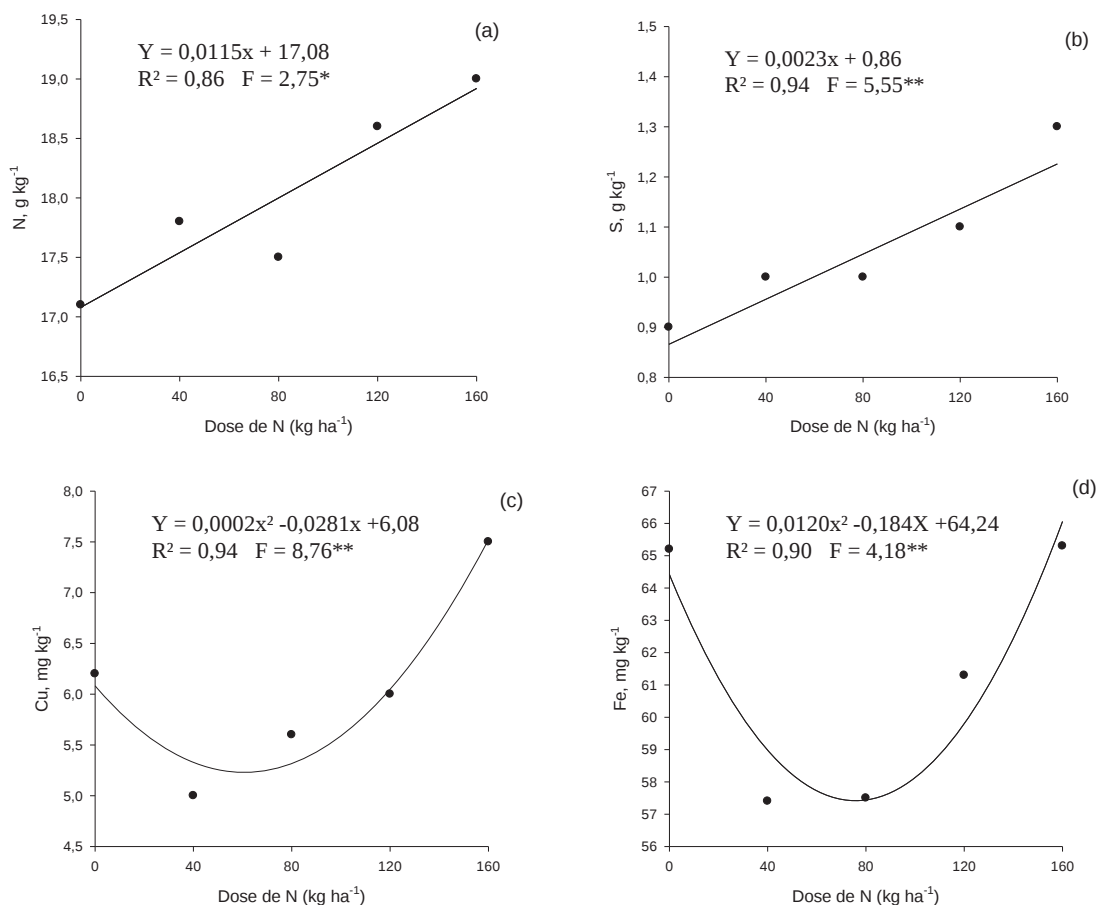


Figura 6. Efeitos de doses de N nos teores foliares de N(a); S(b); Cu(c); Fe(d) da soqueira de cana-de-açúcar. **, * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5 % de probabilidade e não-significativo, respectivamente, em relação ao teste de F.

As doses de N afetaram o acúmulo de N e Si nas folhas e nos colmos da cana-de-açúcar, enquanto os corretivos afetaram o acúmulo de Si nas folhas e colmos (Tabela 4). Houve interação das doses de N e corretivos para acúmulo de N e Si em folhas e de Si nos colmos da cana-de-açúcar (Tabela 4).

A aplicação de N com uso do calcário e do silicato promoveu incremento com ajuste quadrático no acúmulo de N nas folhas, atingindo ponto de máximo na dose de N de 47,5 e 65,4 kg ha⁻¹, respectivamente. Nota-se que a dose de N que proporcionou maior acúmulo de N nas folhas ocorreu na presença do silício (N =174 kg ha⁻¹) em

relação ao calcário ($N = 153 \text{ kg ha}^{-1}$) (Figura 7a). Este acréscimo na absorção de N na presença do Si ocorreu também em outras culturas, como em forrageiras (FONSECA et al., 2011). Observou-se ainda que a aplicação de nitrogênio com o uso dos materiais corretivos, calcário e silicato, promoveu ajuste com incremento quadrático no acúmulo de Si, atingindo ponto de máximo na dose de 69 e 66 kg de N ha^{-1} , respectivamente (Figura 7b).

Quanto ao acúmulo de Si nos colmos foi observado, com a aplicação de calcário e silicato, aumento com ajuste quadrático para esta variável, atingindo pontos de máximos na dose de N igual a 95 e 103 kg ha^{-1} , respectivamente (Figura 7c). Constatou-se que o maior acúmulo de silício na parte aérea (folha+colmo) de cana-de-açúcar ocorreu no tratamento com uso do silicato (261 kg ha^{-1}) em relação ao calcário (198 kg ha^{-1}). Resultados semelhantes foram relatados por ALMEIDA (2011), em que houve maior acúmulo de Si nas folhas da soqueira de cana-de-açúcar nos tratamentos com uso do silicato no solo. Em gramíneas, a absorção de Si promove um aumento também na absorção de macronutrientes nas plantas, principalmente o N (FONSECA et al., 2009).

Tabela 4. Acúmulo de nitrogênio e silício, nas folhas e nos colmos da segunda soqueira de cana-de-açúcar.

Tratamentos	Acúmulo folhas		Acúmulo colmos	
	N	Si	N	Si
	-----kg ha ⁻¹ -----			
Corretivo (C)				
Calcário	134,1	104,7	68,1	92,8
Silicato	140,4	146,9	71,1	114,2
Teste F	0,21 ^{NS}	72,90**	0,24 ^{NS}	60,75**
Dose de nitrogênio (N)				
0 (kg ha^{-1})	142,2	118,7	53,2	81,5
40 (kg ha^{-1})	143,7	121,1	49,4	94,9
80 (kg ha^{-1})	201,3	130,5	73,9	125,6
120 (kg ha^{-1})	120,8	136,6	87,1	119,1
160 (kg ha^{-1})	78,4	102,2	84,4	96,5
Teste F	8,44**	7,19**	6,64**	35,72**
	-----Teste F-----			
(C)x(N)	2,99*	2,78*	1,53 ^{NS}	10,58**
CV%	31,5	12,4	27,4	8,4

** , * e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não-significativo, respectivamente, em relação ao teste de F.

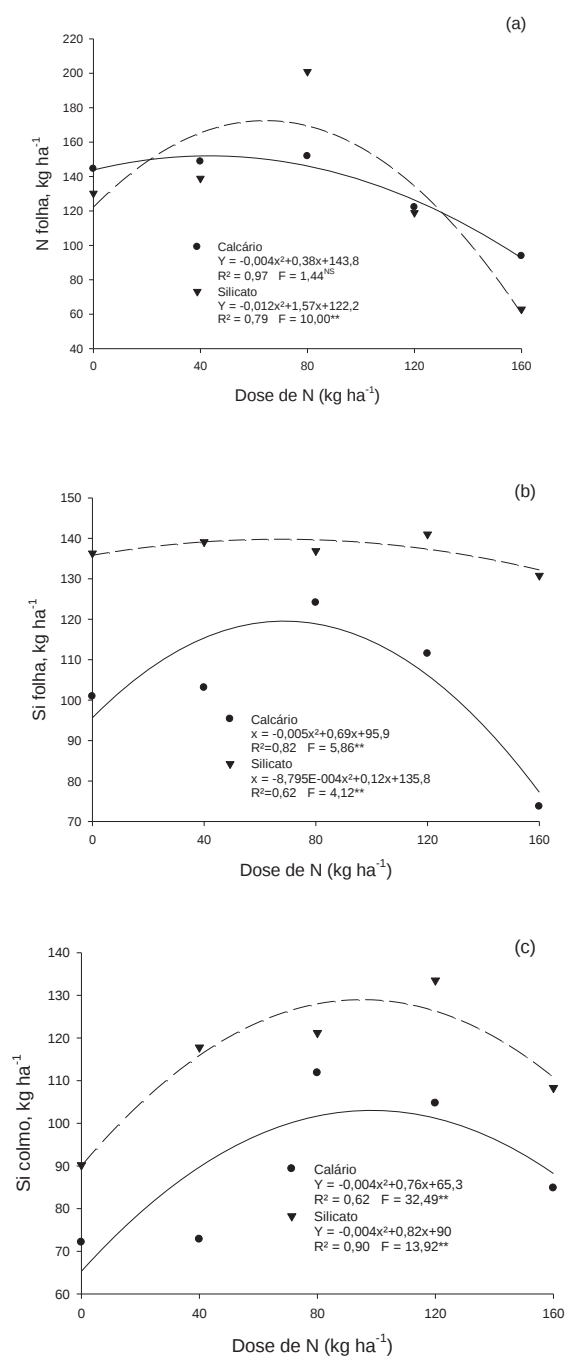


Figura 7. Acúmulo de nitrogênio nas folhas (a), silício nas folhas (b) e nos colmos (c) da cana-de-açúcar em função da aplicação dos tratamentos. ** e ^{NS} – Significativo a 1 % de probabilidade e não-significativo, respectivamente, em relação ao teste de F.

4.3. Efeitos dos tratamentos no desenvolvimento e na produção de colmos

Não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos (doses de N e corretivos) e suas interações na altura e no número e diâmetro dos perfilhos da cana-de-açúcar no segundo corte da soqueira aos 4 meses após a rebrota (Tabela 5), enquanto aos 9 meses após a rebrota da soqueira da cana-de-açúcar os tratamentos afetaram apenas o número de colmos, havendo diferença significativa para o fator corretivos, destacando o uso da escória (Tabela 5).

Na última avaliação de desenvolvimento da soqueira da cana-de-açúcar, a altura foi afetada pelas doses de N e o diâmetro dos colmos pelos corretivos utilizados, e houve a interação dos fatores doses de nitrogênio e corretivos apenas para o número de colmos (Tabela 5). A aplicação de nitrogênio promoveu aumento com ajuste quadrático na altura das plantas da cana-de-açúcar, atingindo ponto de máximo na dose de 100 kg ha^{-1} de N (Figura 8a). As doses de nitrogênio incrementaram com ajuste quadrático o número de colmos na cana-de-açúcar, atingindo pontos de máximos 21 e 15 colmos na dose de 103,5 e 140 kg ha^{-1} de N com emprego do silicato e do calcário respectivamente (Figura 8b).

Houve efeito significativo das doses de N e da interação doses de N e corretivos, calcário e silicato para a produção de matéria seca de folhas e colmos (Tabela 6), promovendo incremento quadrático na produção de matéria seca de folhas, atingindo ponto de máximo na dose de 86 e 95 kg ha^{-1} N, respectivamente, (Figura 6a) e de matéria seca dos colmos, atingindo ponto de máximo nas doses de N de 95 e $102,5 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente (Figura 8b). Este fato indica que a presença do Si em situações de falta ou excesso de nitrogênio atua como elemento benéfico, reduzindo os efeitos prejudiciais no desenvolvimento do canavial (BASTO et al., 2010).

Tabela 5. Efeitos dos tratamentos na altura de plantas, número e diâmetro dos colmos de cana-de-açúcar aos 4, 9 e 12 meses após a rebrota da segunda soqueira de cana-de-açúcar.

Tratamentos	4 meses			9 meses			12 meses		
	Altura (cm)	Número de perfilhos (1,5 m)	Diâmetro dos perfilhos (mm)	Altura (cm)	Número de colmos (1,5 m)	Diâmetro dos colmos (mm)	Altura (cm)	Número de colmos (1,5 m)	Diâmetro dos colmos (mm)
Corretivo (C)	29	30	15,21	175	25	27,82	305	15	29,99
Calcário	29	31	15,22	181	29	27,91	299	17	29,00
Silicato	0,09 ^{NS}	0,09 ^{NS}	0,00 ^{NS}	1,17 ^{NS}	8,48**	0,03 ^{NS}	1,91 ^{NS}	23,70**	13,70**
Teste F									
Dose de nitrogênio (N)									
0 (kg ha ⁻¹)	29	33	15,79	175	26	28,22	288	12	29,08
40 (kg ha ⁻¹)	28	29	15,58	171	26	27,52	307	16	29,30
80 (kg ha ⁻¹)	28	34	15,28	177	25	27,73	304	14	30,25
120 (kg ha ⁻¹)	29	30	16,11	181	31	28,01	306	22	29,66
160 (kg ha ⁻¹)	29	27	13,32	186	25	27,84	298	16	29,19
Teste F	0,90 ^{NS}	0,93 ^{NS}	0,73 ^{NS}	0,86 ^{NS}	2,09 ^{NS}	0,29 ^{NS}	7,10**	34,00**	2,53 ^{NS}
----- Teste F -----									
(C)x(N)	0,96 ^{NS}	1,21 ^{NS}	0,31 ^{NS}	0,98 ^{NS}	0,22 ^{NS}	0,84 ^{NS}	1,60 ^{NS}	28,68**	2,64 ^{NS}
CV%	6,5	27,0	23,9	10,1	17,5	5,1	2,8	10,6	2,9

** e ^{NS} – Significativo a 1% de probabilidade e não-significativo, respectivamente, em relação ao teste de F.

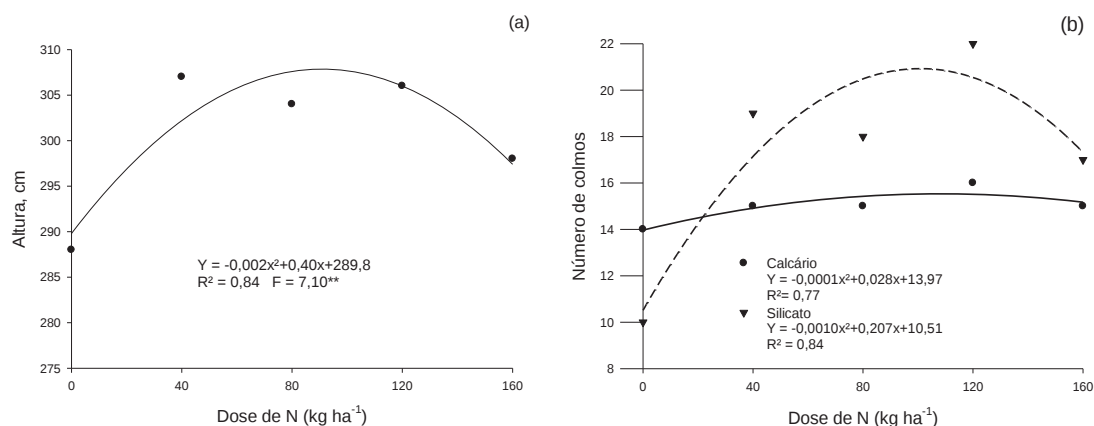


Figura 8. Altura (a) e número de colmo (b) aos 12 meses após rebrota da soqueira da cana-de-açúcar em função dos tratamentos. ** e ^{NS} – Significativo a 1 % de probabilidade e não-significativo, respectivamente, em relação ao teste de F.

Observou-se um aumento na produção de colmos da cana-de-açúcar até 160 kg ha⁻¹ de N, independente da aplicação de calcário ou silicato (Figura 9c), em que o aumento da dose de N promoveu incremento na altura das plantas e no número de colmos (Figura 7) e na matéria seca de folhas e colmos (Figura 9a e b), mostrando que o uso do Si não potencializou a produção de colmos em função da aplicação de nitrogênio (KORNDÖRFER et al., 2000; LEITE et al., 2008; TAIZ & ZEIGER 2009), diferentemente do relatado por ANDERSON et al. (1987) e ANDERSON (1991), em que a aplicação do silicato incrementou a produtividade do canavial. Estes resultados concordam com outros autores, que indicaram aumento da produção da soqueira de cana-de-açúcar colhida em sistema de colheita mecanizada sem queima prévia em função da aplicação de nitrogênio (BASANTA et al., 2003; BRITO et al., 2009; SHEKINAH et al., 2012).

Tabela 6. Efeitos dos tratamentos na produtividade de colmos e produção de matéria seca de colmos e folhas da segunda soqueira da cana-de-açúcar.

Tratamentos	Matéria seca		Produção de colmos
	Folha	Colmo	
	-----t ha ⁻¹ -----		
Corretivo (C)			
Calcário	10,4	18,6	105,9
Silicato	11,2	19,5	95,0
Teste F	1,81 ^{NS}	1,21 ^{NS}	4,04 ^{NS}
Dose de nitrogênio (N)			
0 (kg ha ⁻¹)	9,6	14,2	92,9
40 (kg ha ⁻¹)	9,8	17,5	91,6
80 (kg ha ⁻¹)	13,1	24,1	108,8
120 (kg ha ⁻¹)	11,4	21,4	106,7
160 (kg ha ⁻¹)	7,2	18,2	111,9
Teste F	14,24**	19,41**	4,30**
	-----Teste F-----		
(C)x(N)	9,03**	11,90**	2,30 ^{NS}
CV%	16,7	12,7	17,1

*, ** e ^{NS} – Significativo a 1 e 5% de probabilidade e não significativo, respectivamente, em relação ao teste de F.

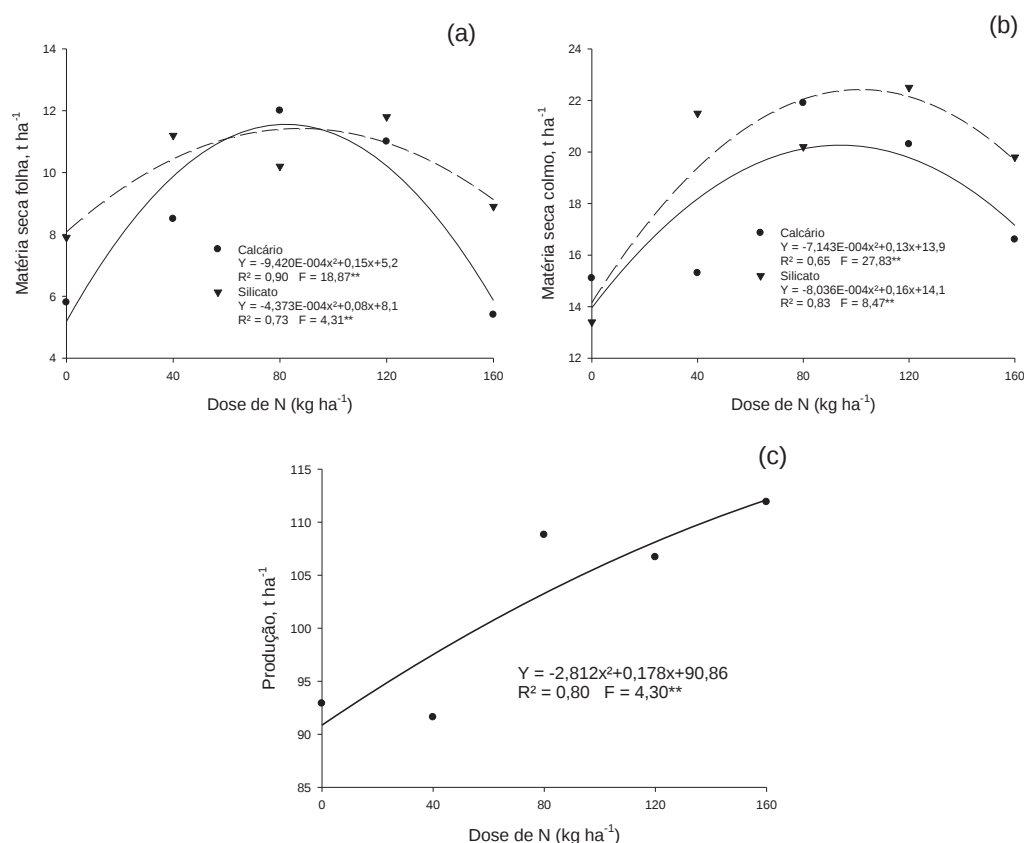


Figura 9. Matéria seca das folhas (a), e dos colmos (b) e produção de colmos da cana-de-açúcar (c), em função dos tratamentos. ** e ^{NS} – Significativo a 1 % de probabilidade e não-significativo, respectivamente, em relação ao teste de F.

4.4. Efeitos dos tratamentos na qualidade tecnológica

Observou-se que as doses de N e os corretivos e sua interação não afetaram significativamente a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar (Tabela 7), assim como o observado por SHEKINAH et al. (2012), em primeira soca.

Nota-se que os resultados obtidos da qualidade tecnológica da cana-de-açúcar da segunda soqueira em função dos tratamentos, dose de N e corretivos, apresentaram pequena variação de resultados ARCaldo (0,57 a 0,62%), ARCana (0,49 a 0,53%), ART (19,98 a 20,81%), Brix (20,71 a 21,51%), Pol (15,74 a 16,39%), Fibra (10,94 a 11,84), Pureza (87,99 a 89,29%). Assim, estes resultados da qualidade tecnológica da soqueira da cana-de-açúcar são considerados adequados de acordo com RIPOLI & RIPOLI (2004) (POL>14%, Pureza>85%, ART>15%, AR<0,8% e Fibra entre 11 e 13%).

A ausência do efeito do nitrogênio na qualidade tecnológica foi também relatada por MOURA et al. (2005). Notou-se que o uso do silicato não afetou a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, o que discorda parcialmente de LEITE et al. (2008), que verificaram aumento apenas no teor de fibras do colmo e de MATICHENKOV & CALVERT (2002), que indicaram aumento na concentração de açúcar das plantas.

Mesmo a aplicação dos materiais corretivos não afetando a qualidade tecnológica e a produção, é perceptível que com um pequeno acréscimo nos custos de produção, com a aplicação do silicato em relação ao calcário, consegue-se obter uma maior remuneração por hectare; se remuneraria com a produtividade atingida nas áreas com aplicação do calcário R\$ 7703,08 ha⁻¹ e nas áreas com aplicação do silicato de cálcio R\$ 8053,22 ha⁻¹. Observando-se então que se devem levar em consideração os preços dos corretivos próximos a região onde serão aplicados, uma vez que a variação de preço entre ele geralmente é pequena.

Tabela 7. Efeito dos tratamentos na qualidade tecnológica da segunda soqueira de cana-de-açúcar.

Tratamentos	¹ AR Caldo	² AR Cana	³ ART	⁴ Brix	Pol	Fibra	Pureza	⁵ ATR
	----- % -----							t ha ⁻¹
Corretivo (C)								
Calcário	0,58	0,49	20,28	21,00	15,93	11,69	89,13	15,4
Silicato	0,59	0,51	20,28	21,08	16,04	11,26	88,71	16,1
Teste F	0,90 ^{NS}	1,51 ^{NS}	0,00 ^{NS}	0,13 ^{NS}	0,53 ^{NS}	3,55 ^{NS}	0,90 ^{NS}	0,01 ^{NS}
Dose de nitrogênio (N)								
0 (kg ha ⁻¹)	0,62	0,53	20,02	20,95	15,74	11,50	87,99	14,4
40 (kg ha ⁻¹)	0,59	0,51	19,98	20,71	15,88	10,94	88,94	14,1
80 (kg ha ⁻¹)	0,58	0,49	20,20	20,89	15,92	11,52	89,29	17,0
120 (kg ha ⁻¹)	0,57	0,49	20,81	21,51	16,39	11,59	89,42	17,1
160 (kg ha ⁻¹)	0,59	0,50	20,38	21,14	15,96	11,84	88,98	17,5
Teste F	1,26 ^{NS}	1,27 ^{NS}	2,55 ^{NS}	1,72 ^{NS}	2,32 ^{NS}	1,61 ^{NS}	1,26 ^{NS}	0,21 ^{NS}
	----- Teste F -----							
(C)x(N)	1,61 ^{NS}	1,53 ^{NS}	0,96 ^{NS}	0,74 ^{NS}	1,35 ^{NS}	0,80 ^{NS}	1,61 ^{NS}	0,11 ^{NS}
CV%	8,1	8,4	2,9	3,1	2,8	6,3	1,6	25,5

^{NS} – Não-significativo, respectivamente, em relação ao teste de F. ¹AR Caldo: açúcar recuperável do caldo; ²AR Cana: açúcar recuperável da cana; ³ART: açúcar redutores totais; ⁴Brix: concentração sólidos solúveis; ⁵ATR: açúcar total recuperável.

V. CONCLUSÕES

O uso do nitrogênio associado aos corretivos não afetou a fertilidade do solo, entretanto, o uso do silicato aumentou o teor de Si do solo 9 meses após a aplicação.

As variáveis de desenvolvimento não foram afetadas pela aplicação dos tratamentos, exceto número de colmos na época da colheita, apresentando aumento na presença do silício.

As doses de N e os corretivos não influenciaram o teor adequado de nutrientes foliares da cultura, porém influenciou o acúmulo de N e Si na planta.

As doses de N, independentemente do uso do silicato, aumentaram a produtividade da soqueira da cana-de-açúcar; todavia, não afetaram a qualidade tecnológica.

VI. REFERÊNCIAS

ANDERSON, D. L. Soil and leaf nutrient interaction following application of calcium silicate slag to sugarcane. **Fertilizer Research**, v. 30, p. 9-18, 1991.

ANDERSON, D. L.; JONES, D. B.; SNYDER, G. H. Response of a rice and sugar cane relation to calcium silicate slag on Everglades Histossols. **Agronomy Journal**, v. 79, p. 531-535, 1987.

ANDRIOLI, I.; CENTURION, J.F. Levantamento detalhado dos solos da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, 1999. **Anais**, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 32p. 1999.

ALMEIDA, T.B.F. Efeito residual do calcário e da escória de siderurgia na primeira soqueira da cultura da cana-de-açúcar. 74f. **Dissertação (Mestrado)** – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, São Paulo. 2011.

ARALDI, R.; SILVA, F.M.L.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D. Florescimento em cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 3, 2010. BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). (Org.). **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar**.

BASANTA, M.V.; DOURADO-NETO, D.; REICHARDT, K.; BACCHI, O.O.S.; OLIVEIRA, J.C.M.; TRIVELIN, P.C.O.; TIMM, L.C.; TOMINAGA, T.T.; CORRECHEL, V.; CÁSSARO, F.A.M.; PIRES, L.F.; de MACEDO, J.R. Management effects on nitrogen recovery in a sugarcane crop grown in Brazil. **Geoderma**, v. 116, n. 1-2, p. 235-248, 2003.

BASTO, J.C.H.A.G.; CAZETTA, J.O.; PRADO, R.M. Materiais corretivos e nitrogênio na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **Interciencia**, v. 35, n. 1, p. 55-58, 2010.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**, 1983, 48 p. (Boletim Técnico, 78).

BRITO, A.S.; LIBARDI, P.L.; GHIRBERTO, P.J. Componentes do balanço de água no solo com cana-de-açúcar, com e sem adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 2 p.295-303, 2009 .

CANTARELLA, H.; TRIVELIN, P.C.O. Determinação de nitrogênio total em solo. In: RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A., eds. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**, 2001. p.262-269.

CONAB. Companhia Nacional de abastecimento. **Safras 2011-2012**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_12_08_11_00_54_08.pdf> Acesso em: 26 fev. 2012.

CONSECANA-SP – Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool do Estado de São Paulo. **Manual de instruções**, CONSECANA-SP. 2006.

CORREIA, B.L.; ALLEONI, L.R.F. Conteúdo de carbono e atributos químicos de Latossolo sob cana-de-açúcar colhida com e sem queima. **Pesquisa Brasileira Agropecuária**. v.46, n.8, p.944-952, 2011.

COSTA, M.C.G.; VITTI, G.C.; CANTARELLA, H. Volatilização de N-NH₃ de fontes nitrogenadas em cana-de-açúcar colhida sem despalha a fogo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p.631-637, 2003.

DEREN, C.W.; GLAZ, B.; SNYDER, G.H. Leaf-tissue silicon content of sugarcane genotypes grown on everglades histosols. **Journal of Plant Nutrition**, v.16, n.11, p.2273-2280, 1993.

DONAGEMMA, G.K.; RUIZ, H.A.; ALVAREZ, V.H.; FERREIRA, P.A.; CANTARUTTI, R.B.; SILVA, A.T.; FIGUEIREDO, G.C. Distribuição do amônio, nitrato, potássio e fósforo em colunas de latossolos fertirrigadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2493-2504, 2008.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

Estação Agroclimatológica FCAV/Unesp – Jaboticabal. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/#1244,1975>> Acesso em: 12 dez. 2011.

FARIA, L.A. LUZ, P.; RODRIGUES, R.C.; HERLING, V.R.; MACEDO, F.B. . Efeito residual da silicatagem no solo e na produtividade do capim-marandu sob pastejo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 3, p.1209-1216, 2008

FONSECA, I. M. Atributos químicos do solo, nutrição e produtividade da cana-planta em função da aplicação de nitrogênio e de escória de siderurgia. 98 f. **Tese (Doutorado)** – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Jaboticabal, São Paulo. 2011.

FONSECA, I. M., R. M. PRADO, T. A. R. NOGUEIRA e J. C. BARBOSA. Macronutrients in marandu palisade grass as influenced by lime, slag, and nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.42, n.7, p. 844-857, 2011.

FONSECA, I.M.; PRADO, R.M.; VIDAL, A.A.; NOGUEIRA, T.A.R. Efeito da escória,

calcário e nitrogênio na absorção de silício e na produção do capim-marandu. **Bragantia**, v.68, n.1, p. 221-232, 2009.

FORTES, C., TRIVELIN, P.C.O., VITTI, A.C., FERREIRA, D.A., FRANCO, H.C.J., OTTO, R. Recovery of nitrogen (^{15}N) by sugarcane from previous crop residues and urea fertilization under a minimum tillage system. **Sugar Tech**, v.13, n.1, p.42-46, 2011.

FOX, R.L.; SILVA, J.A.; PLUCKNETT, D.L.; TERANISHI, D.Y. Soluble and total silicon in sugar cane. **Plant and Soil**, v.30, n. 1, p.81-92, 1969.

FRANCO, H.C.J. TRIVELIN, P.C.O.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; OTTO, R. Aproveitamento pela cana-de-açúcar da adubação nitrogenada de plantio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p.2547-2553, 2008 .

FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E.; VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O. Acúmulo de macronutrientes em cana-de-açúcar em função da adubação nitrogenada e dos resíduos culturais incorporados ao solo no plantio. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p.669-674, 2007.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; OLIVEIRA, M.W.; PENATTI, C.P. Crescimento e acúmulo de nitrogênio em cana-de-açúcar cultivada em solo coberto com palhada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.

GAVA, G.J.C.; TRIVELIN, P.C.O.; VITTI, A.C.; OLIVEIRA, M.W. Recuperação do nitrogênio (^{15}N) da uréia e da palhada por soqueira de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 4, p.1347-1354, 2003 .

GOLDEMBERG, J.; MOREIRA, J.R. Política energética no Brasil. **Estudos Avançados**, v.19, n.55, p.215-228, 2005 .

GOTO, E.; IGARASI, T.; INATI, O. The effect of nitrogen and silica nutrition on percentage of sterility by rice plant [*Oryza sativa*]. **Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 76, n. 6, p. 881-889. 2005.

IAB – Instituto Aço Brasil. **Relatório de sustentabilidade 2010**. Disponível em <http://www.acobrasil.org.br/site/portugues/sustentabilidade/downloads/relatorio08_2010.pdf> Acesso em: 06/02/2012.

KEEPING, M.G.; KVEDARAS, O.L.; BRUTON, A.G. Epidermal silicon in sugarcane: Cultivar differences and role in resistance to sugarcane borer *Eldana saccharina*. **Environmental & Experimental Botany**, v.66, n.1, p.54-60. 2010.

KEEPING, M.G.; MEYER, J.H. Silicon-mediated resistance of sugarcane to *Eldana saccharina* Walker (Lepidoptera: Pyralidae): effects of silicon source and cultivar. **Journal of Applied Entomology**, v.130, n.8, p.410-420, 2006.

KINGSTON G, BERTHELSEN S, HURNEY AP, RUDD A, NOBLE AD. Impact of calcium silicate amendments on sugarcane yield and soil properties in Queensland Australia. In: Silicon in griculture Conference, 3., 2005,. **Anais...**, Uberlândia: UFU/ICIAG, 2005. p. 152 p.

KORNDÖRFER, G.H.; C.A. COLOMBO; P.L.C. LEONE.. Termofosfato como fonte de silício para a cana-de-açúcar. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.19, n.1, p.34-36, 2000.

KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; NOLLA, A. **Análise de silício: solo, planta e fertilizante**. GPSi-ICIAG-UFU, 2004. 34p. (Boletim técnico, 2).

KRASKA, J.E. e G.A. BREITENBECK. Simple, Robust Method for Quantifying Silicon in Plant Tissue. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, 41:17, p.2075-2085, 2010.

KVDARAS, O.L.; BYRNE, M.J.; COOMBERS, N.E.; KEEPING, M.G. Influence of plant silicon and sugarcane cultivar on mandibular wear in the stalk borer *Eldana saccharina*. **Agricultural and Forest Entomology**, v.11, n.3, p.301-306. 2009.

LEITE, G.M.V.; ANDRADE, L.A.B.; GARCIA, J.C.; ANJOS, I.A. Efeitos de fontes e doses de silicato de cálcio no rendimento agrícola e na qualidade tecnológica da cana-de-açúcar, cultivar SP80-1816. **Ciência agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p.1120-1125, 2008.

MALAVOLTA, E. Adubos Nitrogenados. In: _____. **Manual de química agrícola – Adubos e adubação**. 2. ed. CERES, 1967. cap. 3, p. 11-53.

MALAVOLTA, E. Elementos benéficos e tóxicos: Silício. In: _____. **Manual de nutrição mineral de plantas**. Ceres, 2006a. Cap. 5, p.418-511.a.

MALAVOLTA, E. Funções dos macro e micronutrientes. In: _____. **Manual de nutrição de plantas**. Ceres, 2006b. Cap.4, p.126 417.b.

MARSCHNER, H. Beneficial mineral elements: Silicon. In: _____. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. Amsterdam: Academic Press, 2005. Cap. 10, p.405-435. 1995.

MATICHENKOV, V.V., D.V.CALVERT. 2002. Silicon as a beneficial element for sugarcane. **Journal American Society of Sugarcane Technologists**. v.22, p.21-30. 2002.

MAUAD, M.; CRUSCIOL, C.A.C.; GRASSI FILHO, H.; CORRÊA, J.C. Nitrogen and

silicon fertilization of upland rice. **Scientia agrícola**, v. 60, n. 4, 2003a .

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C.A.C.; CORREA, J.C.. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v.27, n.5, p. 867-873, 2003b .

OLIVEIRA, M.W.; TRIVELIN, P.C.O.; PENATTI, C.P.; PICCOLO, M.C. Decomposição e liberação de nutrientes da palhada de cana-de-açúcar em campo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.34, n.12, p.2359-2362, 1999.

OLIVEIRA, R.A.; DAROS, E.; ZAMBOM, J.L.C.; WEBER, H.; IDO, O.T.; ZUFFELLATO-RIBAS, K.C.; KOEHLER, H.S.; SILVA, D.K.T. Crescimento e desenvolvimento de três cultivares de cana-de-açúcar, em cana-planta, no estado do Paraná. **Scientia Agraria**, v.5, n.1-2, p.87-94, 2004.

PARRY, D.W.; KELSO, M. The ultrastructure and analytical microscopy of silicon deposits in the roots of *Saccharum officinarum* (L.). **Annals of Botany**, v.41, n.4, p.855-862. 1977.

PAULA, M.; PEREIRA, F.A.R.; ARIAS, E.R.A.; SCHEEREN, B.R.; SOUZA, C.C.; MATA, D.S. Fixação de carbono e a emissão dos gases de efeito estufa na exploração da cana-de-açúcar. **Ciência agrotecnologia**, v. 34, n. 3, p.746-750, 2010 .

PEREIRA, H.S. KONDÖRFER, G.H.; VIDAL, A.A.; CAMARGO, M.S. Silicon sources for rice crop. **Scientia Agrícola**, v.61, n.5, p.522-528, 2004.

PEREIRA, H.S.; GAMA, A.J.M.; CAMARGO, M.S.; KORNDORFER, G.H. Reatividade de escórias silicatadas da indústria siderúrgica. **Ciência e agrotecnologia**, v. 34, n. 2, 2010 .

PIMENTEL-GOMES, F. e C. H. GARCIA. **Estatística aplicada a experimentos agronômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 309p. 2002.

PINHEIRO, E.F.M., LIMA, E., CEDDIA, M.B., URQUIAGA, S., ALVES, B.J.R., BODDEY, R.M. Impact of pre-harvest burning versus trash conservation on soil carbon and nitrogen stocks on a sugarcane plantation in the Brazilian Atlantic forest region. **Plant Soil**. v.333, p.71-80, 2010.

PMGCA – Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar. **Variedades RB de cana-de-açúcar**. Centro de Ciências Agrárias/UFSCAR, 2008.

PRADO, R.M. Interações entre nutrientes. In:_____. **500 perguntas e respostas sobre nutrição de plantas**. Editora Santa Terezinha. cap. 18, p.105-108. 2009.

PRADO, R.M. Nitrogênio. In:_____. **Nutrição de plantas**. Jaboticabal: Editora UNESP, 2008b. cap. 4, p.83-120.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p.65-70, 2003.

PRADO, R.M.; NATALE, W. Efeito da aplicação de silicato de cálcio no crescimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 9, n. 2, p.185-190, 2005 .

PRADO, R.M.; PANCELLI, M.A. Resposta de soqueiras de cana-de-açúcar à aplicação de nitrogênio em sistema de colheita sem queima. **Bragantia**, v. 67, n.4, p.951-959, 2008.

PRIMAVESI, A. C., O. PRIMAVESI, L. A. CORRÊA, H. CANTARELLA e A. G. SILVA. Absorção de cátions e ânions pelo capim-coastcross adubado com uréia e nitrato de amônio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, n.3, p.247-253, 2005.

QUAGGIO, J. A. **Acidez e calagem em solos tropicais**. Instituto Agronômico, 2000. 111 p.

RA, K., SHIOTSU, F., ABE, J., MORITA, S. Biomass yield and nitrogen use efficiency of cellulosic energy crops for ethanol production. **Biomass & Bioenergy**. v.37, p.330-334, 2012.

RAID, R. N.; ANDERSON, D. L.; ULLOA, M. F. Influence of cultivar and amendment of soil with calcium silicate slag on foliar disease development and yield of sugar cane. **Crop Protection**, v. 11, n. 1, p.84-88, 1992.

RAIJ, B. van. e H. CANTARELLA. 1997. Outras culturas industriais. In: RAIJ, B. van., H. CANTARELLA, J. A. QUAGGIO e A. M. C. FURLANI. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2 ed. rev. Campinas: Instituto Agronômico, p.233-239, 1997.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade do solo**. Instituto Agronômico, 2001. 285 p.

RAIJ, B.van. **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. IPNI, Piracicaba – SP, 420p. 2011.

RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Piracicaba: Barros & Marques Ed. Eletrônica, 2004. 302 p.

ROBINSON, N.; FLETCHER, A.; WHAN, A.; CRITCHLEY, C.; VON WIRN, N.; LAKSHMANAN, P.; SCHIMDT, S. Sugarcane genotypes differ in internal nitrogen use efficiency. **Functional Plant Biology**, v. 34, n. 12, p.1122-1129, 2007.

ROSSETTO, R.; SPIRONELLO, A.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. Calagem para cana-de-açúcar e sua interação com doses de Potássio. **Bragantia**, v. 63, n. 1, p.105-119, 2004.

SALVI, J.V. MATOS, M.A.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de corte de base de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n. 1, p.201-209, 2007.

SAVANT, N.K.; DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. Silicon nutrition and sugarcane production: A review. **Journal of Plant Nutrition**, v.22, n.12, p.1853-1903, 1999.

SHEKINAH, D.E.; SUNDARA, B.; RAKKIYAPPAN, P. Relative significance of n nutrition on yield, quality and ethanol in sugarcane (*Saccharum species hybrid*) plant: Ratoon System. **Sugra Tech**, No prelo. 2012.

SILVA, R.P.; CORREA, C.F.; CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E.A. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 28, n. 2, p.292-304, 2008 .

SOUZA, Z.M.; PAIXÃO, A.C.S.; PRADO, R.M.; CESARIN, L.G.; SOUZA, S.R.; MONTANARI, R. Produtividade agrícola de variedades de cana-de-açúcar e incidência de broca-comum e cigarrinha-da-raiz em canavial colhido sem queima. **Bragantia**, v. 67, n. 2, p.261-266, 2008 .

SPIRONELLO, A., B. van RAIJ, C. P. PENATTI, H. CANTARELLA, J. L. MORELLI, J. ORLANDO FILHO, M. G. A. LANDELL e R. ROSSETTO. Cana-de-açúcar. In: B. van

RAIJ, H. CANTARELLA, J. A. QUAGGIO e A. M. C. FURLANI. **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2 ed. rev. Campinas, São Paulo: Instituto Agronômico, 237-239, 1997.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Nutrição Mineral. In: _____. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Artmed, 2009. cap.5, p. 95-116.

TOLMASQUIM, M.T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos - CEBRAP**, n. 79, 2007 .

TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M. Nitrogênio. In: _____. **Solos e fertilidade do solo**. 6. ed. Andrei, 2007. Cap. 11, p.311-342.

VALE, D.W., PRADO, R.M., BASTOS, J.C.H.A.G., CAZETTA, J.O. Nitrogênio e escória de siderurgia nos atributos químicos do solo e na nutrição da cana-de-açúcar. **Revista da FZVA**. v.7, n.2, p.199-220, 2010.

VITTI, A.C.; TRIVELIN, P.C.O.; GAVA, G.J.C.; FRANCO, H.C.J.; BOLOGNA, I.R.; FARONI, C.E. Produtividade da cana-de-açúcar relacionada à localização de adubos nitrogenados aplicados sobre os resíduos culturais em canavial sem queima. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p.491-498, 2007.