



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA



DIOGO HENRIQUE DE AQUINO BORGES

**EFEITO DO SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO E DO GESSO AGRÍCOLA NO
CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E POTENCIAL HÍDRICO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

RIO LARGO – AL

2012

DIOGO HENRIQUE DE AQUINO BORGES

**EFEITO DO SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO E DO GESSO AGRÍCOLA NO
CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E POTENCIAL HÍDRICO DA CANA-DE-AÇÚCAR**

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-
Graduação em Agronomia, Centro de Ciências
Agrárias, Universidade Federal de Alagoas,
como requisito para obtenção do título de
Mestre em AGRONOMIA, área de
concentração em Produção Vegetal.**

Orientador: Prof. Dr. Laurício Endres

RIO LARGO – AL

2012

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária Responsável: Fabiana Camargo dos Santos

- B732e Borges, Diogo Henrique de Aquino.
Efeito do silicato de cálcio e magnésio e do gesso agrícola no crescimento, produção e potencial hídrico da cana-de-açúcar / Diogo Henrique de Aquino. – 2012.
76 f. : il., tab, graf.
- Orientador: Laurício Endres.
Dissertação (Mestrado em Agronomia : Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2012.
- Bibliografia: f. 63-76.
1. Saccharum spp. 2. Silício. 3. Sistema radicular - Acúmulo de nutrientes. 4. Índice SPAD. 5. Ascorbato peroxidase. I. Título.

CDU: 633.61:631.81

TERMO DE APROVAÇÃO

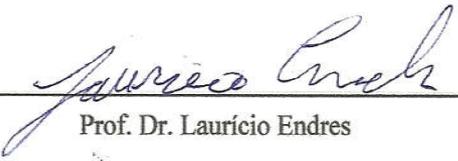
DIOGO HENRIQUE DE AQUINO BORGES

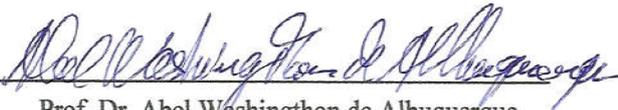
Matrícula: 10130295

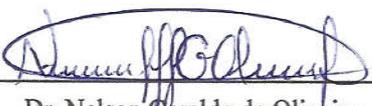
EFEITO DO SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO E DO GESSO AGRÍCOLA NO CRESCIMENTO, PRODUÇÃO E POTENCIAL HÍDRICO DA CANA-DE-AÇÚCAR

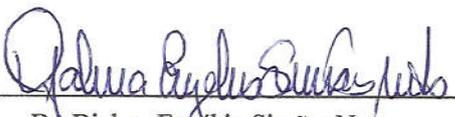
Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Área de Concentração em Produção Vegetal) da Universidade Federal de Alagoas e aprovada em 31 de maio de 2012.

Banca examinadora:


Prof. Dr. Laurício Endres
Orientador – CECA/UFAL


Prof. Dr. Abel Washington de Albuquerque
Membro – CECA/UFAL


Dr. Nelson Geraldo de Oliveira
Membro – CECA/UFAL


Dr. Djalma Euzébio Simões Neto
Membro – EECAC/UFRPE

A Deus

Aos meus Pais Armando José de Lobo Borges Filho e Iracema Lourenço de Aquino Borges

A minha irmã Sawana Caroline de Aquino Borges

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom supremo da vida e pela oportunidade de crescimento e evolução;

A Universidade Federal de Alagoas, pela oportunidade de fazer o curso de mestrado e ser minha segunda casa;

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal);

Ao amigo e Prof. Dr. Laurício Endres pela orientação, ensinamentos, confiança e compartilhamento de suas idéias e experiências durante a realização deste trabalho. Meu Muito Obrigado;

Ao amigo e conselheiro Prof. Dr. Simério Cruz, pela amizade e assistência prestada em todas as etapas deste trabalho;

Aos colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal da UFAL, Eduardo, Breno, Simério, Sihélio, Débora, Laís, Poliana, Regina, Janaína, Israel, Felipe, Benigno, Manoel Vitor, Manoel Messias, Pedro, Valtair, Humberto Cristiano e Freds pelos momentos de descontração e por toda a ajuda na realização deste trabalho;

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos;

A Usina Capricho, e principalmente aos Engs^o Agr^o Fabrício Carvalho e Humberto Barros, pelo apoio e parceria na realização das atividades de campo;

A mineradora SUPERGESSO pelo apoio no fornecimento do Gesso agrícola;

Aos professores da Pós-Graduação em Agronomia, Vilma Marques, Gilson Moura, Paulo Vanderlei, José Vieira, pelos ensinamentos durante as disciplinas;

A todos os colegas do mestrado, Freds, Giordano, Lourdes, Andréa, Marcondes, Láine, Giorgens e os que não foram citados, por compartilhar os momentos de luta durante as disciplinas;

Aos técnicos administrativos da UFAL, em especial Geraldo, Marcos, Michele e Rinaldo pelo apoio durante o curso de mestrado;

Enfim, a todos que de algum modo contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O presente estudo teve por objetivo, avaliar o efeito de gesso agrícola e do silicato de cálcio e magnésio sobre o crescimento, produção e tolerância à seca da cana-de-açúcar. O experimento foi conduzido em área agrícola pertencente à Usina Capricho, localizada no município de Cajueiro, AL. O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições. A parcela foi constituída de cinco linhas de 10 m de comprimento com espaçamento de 1 m entre linhas. Os tratamentos foram constituídos de cinco doses de silicato de cálcio e magnésio (0, 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹) e duas doses de gesso agrícola (0 e 1,9 Mg ha⁻¹) aplicadas antes do plantio. A variedade utilizada no experimento foi a RB92579. O crescimento da cana-de-açúcar não foi alterado pela aplicação de silicato de cálcio e magnésio. O silicato de cálcio e magnésio aumentou os teores de potássio e magnésio e diminuiu os teores de boro, manganês e cobre na massa seca da folha +3. O silicato de cálcio e magnésio associado ao gesso não aumentou a produtividade da cana-de-açúcar no ciclo cana-planta. A presença do gesso e do silicato proporcionou uma maior alocação de biomassa para o sistema radicular. O gesso agrícola proporcionou um aumento do potencial hídrico foliar durante a estação seca. No entanto, não afetou o estado oxidativo das folhas. O silicato de cálcio e magnésio e o gesso agrícola elevaram os valores de índice SPAD.

Palavras-chave: *Saccharum* spp. Silício. Acúmulo de nutrientes. Sistema radicular. Índice SPAD. Ascorbato peroxidase.

ABSTRACT

This study aimed to, evaluate the effect of gypsum associated with calcium silicate and magnesium on growth, production and drought tolerance of sugarcane. The experiment was conducted in agricultural area belonging to Capricho Mill, located in the city Cajueiro, AL. The experimental design was a randomized complete block in a split plot with four replications. The plot consisted of five rows of 10 m length with 1 m between rows. The treatments consisted of five doses of calcium silicate and magnesium (0, 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹) and two of gypsum (0 e 1,9 Mg ha⁻¹) applied before planting. The variety used in the experiment was RB92579. The growth of sugar cane was not altered by the application of calcium silicate and magnesium. Calcium silicate and magnesium increased potassium and magnesium and decreased the contents of boron, manganese and copper in the dry weight of the leaf +3. The application of calcium silicate and magnesium associated with gypsum did not increase the productivity of sugarcane in cane plant cycle. The presence of gypsum and silicate gave a higher biomass allocation to root system. The gypsum provided an increase in leaf water potential during the dry season. However, did not affect the oxidative state of the leaves. The calcium silicate and gypsum and magnesium along the increased index values SPAD.

Keywords: *Saccharum* spp. Silicon. Accumulation of nutrients. Root system. SPAD index. Ascorbate peroxidase.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Pluviometria no período de setembro de 2010 a dezembro de 2011 na área experimental, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. 33
- Figura 2.** Superfície de resposta de altura de planta (A), diâmetro de colmo (B), área foliar (C) e número de perfilhos (D) em função da interação Tempo x Silício, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ** significativo a 1% de probabilidade. 44
- Figura 3.** Superfície de resposta do número de folhas sem aplicação de gesso agrícola (A) e com aplicação de gesso agrícola (B) em função da interação Tempo x Silício, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ** significativo a 1% de probabilidade. 46
- Figura 4.** Teores foliares de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F) na cana-planta em função da aplicação de doses de silicato, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ns: não significativo; *: significativo ao nível de 5% de probabilidade; **: significativo ao nível de 1% de probabilidade. 47
- Figura 5.** Teores foliares de silício (A), boro (B), cobre (C), ferro (D), manganês (E) e zinco (F) na cana-planta em função da aplicação de doses de silicato, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ns: não significativo; *: significativo ao nível de 5% de probabilidade; **: significativo ao nível de 1% de probabilidade. 50
- Figura 6.** Massa seca de raiz por volume de solo em função dos tratamentos aplicados, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. Médias sobrescritas por letras distintas diferem ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste Tukey. 54
- Figura 7.** Massa seca de raiz por volume de solo em função das profundidades estudadas, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. Médias sobrescritas por letras distintas diferem ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste Tukey. 55
- Figura 8.** Massa seca de raiz por volume de solo em função da interação entre os tratamentos e as profundidades, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. Médias sobrescritas por letras

iguais, tanto para os tratamentos dentro das profundidades (letras minúsculas), com para as profundidades dentro dos tratamentos (letras maiúsculas), não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey. 56

Figura 9. Potencial hídrico foliar antemanhã-4h (A) e ao meio-dia-12h (B) da variedade RB92579 em função de doses de silicato isoladas e associadas ao gesso agrícola, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. Médias sobrescritas por letras distintas para gesso em cada dose de silicato diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey. 57

Figura 10. Valor SPAD na cana-de-açúcar, em função da aplicação de doses de silicato isoladas e associadas ao gesso agrícola, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. **: significativo ao nível de 1% de probabilidade..... 60

Figura 11. Médias de índice SPAD da variedade RB92579 em função de silicato e gesso agrícola, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. Médias sobrescritas por letras iguais, tanto para as doses de silicato dentro de gesso (letras minúsculas), com para gesso dentro de doses de silicato (letras maiúsculas), não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey. 61

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1.** Caracterização química e física do solo da área experimental em três profundidades, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. SB⁽¹⁾: Soma de Bases; CTC⁽²⁾: Capacidade de Troca Catiônica; V⁽³⁾: Saturação por Bases; M⁽⁴⁾: Saturação por alumínio. DS⁽⁵⁾: Densidade do Solo; DP⁽⁶⁾: Densidade da Partícula; PT⁽⁷⁾: Porosidade Total; CC⁽⁸⁾: Capacidade de Campo; PMP⁽⁹⁾: Ponto de Murcha Permanente 34
- Tabela 2.** Caracterização do gesso agrícola utilizado na área experimental, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. 35
- Tabela 3.** Caracterização química e física da escória siderúrgica utilizada na área experimental, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. PN: poder de neutralização; RE: reatividade; PRNT: poder relativo de neutralização total. 35
- Tabela 4.** Análise biométrica da cana-de-açúcar aos 90, 180, 270 e 360 dias após o plantio (DAP) em função da aplicação de silicato de cálcio e magnésio, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. 41
- Tabela 5.** Análise biométrica da cana-de-açúcar aos 90, 180, 270 e 360 dias após o plantio (DAP), em função da aplicação de gesso agrícola, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. Médias seguidas por letras iguais na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey. 42
- Tabela 6.** Rendimentos de colmo e POL de cana-de-açúcar em função de doses de silicato aplicadas isoladamente ou associadas ao gesso agrícola, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey; CV(%)₁: coeficiente de variação referente às parcelas; CV(%)₂: coeficiente de variação referente às subparcelas. 52
- Tabela 7.** Características químico-tecnológicas de cana-de-açúcar em função de doses de silicato aplicadas isoladamente ou associadas ao gesso agrícola, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey; CV(%)₁: coeficiente de variação referente às parcelas; CV(%)₂: coeficiente de variação referente às subparcelas; SG: sem gesso; CG: com gesso. 53

Tabela 8. Potencial osmótico foliar antemanhã-4h e ao meio-dia-12h da variedade RB92579 em função de doses de silicato associadas com gesso e sem gesso, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey; CV(%)₁: coeficiente de variação referente às parcelas; CV(%)₂: coeficiente de variação referente às subparcelas. 58

Tabela 9. Atividade enzimática da ascorbato peroxidase (APX) foliar na variedade de cana-de-açúcar RB92579 em relação à aplicação de doses de silicato de cálcio e magnésio, isoladas ou combinadas com o gesso agrícola. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey; CV(%)₁: coeficiente de variação referente às parcelas; CV(%)₂: coeficiente de variação referente às subparcelas. 62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 A Cana-de-açúcar: classificação botânica, síntese histórica, aspectos econômicos, morfológicos e ecofisiológicos	15
2.2 O gesso agrícola.....	17
2.3 Silício na agricultura	20
2.4 Análise de crescimento	23
2.5 Nutrição da cana-de-açúcar.....	25
2.6 Estresse hídrico	27
2.7 Avaliação do sistema radicular.....	29
2.8 Valor SPAD	30
2.9 Ascorbato peroxidase (APX)	32
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	33
3.1 Caracterização do ambiente experimental.....	33
3.2 Definição dos tratamentos e procedimentos experimentais.....	35
3.3 Caracterização da variedade	36
3.4 Avaliações de crescimento.....	37
3.5 Análises químicas	37
3.6 Variáveis agroindustriais.....	38
3.7 Avaliação do desenvolvimento radicular.....	38
3.8 Potencial hídrico foliar (ψ_w).....	38
3.9 Potencial de solutos (ψ_s).....	38
3.10 Índice SPAD	39
3.11 Ascorbato Peroxidase (APX)	39

3.12	Proteínas solúveis das enzimas antioxidantes.....	39
3.13	Análises estatísticas	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4.1	Avaliações de crescimento.....	41
4.2	Teores de nutrientes em folha.....	46
4.3	Produção agrícola e variáveis agroindustriais	51
4.4	Massa seca de raiz	53
4.5	Potencial hídrico (ψ_w) e Potencial de solutos (ψ_s).....	56
4.6	Índice SPAD	59
4.7	Atividade da ascorbato peroxidase (APX)	61
5	CONCLUSÕES.....	63
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar é plantada no Brasil há quase 500 anos e hoje, a cultura é considerada um importante fator produtivo do agronegócio no país, devido a sua utilização como matéria prima agroindustrial na produção de açúcar e álcool. O Brasil lidera a produção de cana-de-açúcar no mundo com uma produção total na safra 2011/2012 de 571,47 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, o que permitiu uma produção de 39,9 milhões de toneladas de açúcar, 9 bilhões de litros de etanol anidro e 13 bilhões de litros de etanol hidratado. Toda essa produção ocorreu numa área plantada de 8,2 milhões de hectares, alcançando produtividades médias de 68 t ha^{-1} (CONAB, 2012).

Os períodos de seca podem afetar negativamente o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas principalmente pela redução da fotossíntese causada pelo fechamento estomático. No entanto, a capacidade da planta responder e sobreviver a essa deficiência hídrica depende dos mecanismos internos expressados pelas respostas celulares da planta. As respostas à deficiência hídrica podem ocorrer dentro de poucos segundos, minutos e até mesmo horas, como uma mudança na expressão gênica (BRAY, 1997).

Apesar da maior parte da área plantada com cana-de-açúcar no estado de Alagoas se encontrar na Zona da Mata, a cultura está propensa a enfrentar períodos de seca severa, reduzindo o potencial hídrico da cultura e comprometendo drasticamente a produtividade dos canaviais, levando a uma variação muito grande de produção entre as safras.

O programa de melhoramento da cana-de-açúcar do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas desenvolve pesquisas e atividades técnicas com o objetivo de obter novas variedades RBs de cana-de-açúcar com característica de alta produtividade agroindustrial, adaptadas a diferentes condições edafoclimáticas da região canavieira do Brasil. Um dos principais objetivos do programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar é selecionar variedades mais adaptadas às condições de seca do Nordeste.

Para mitigar o efeito do déficit hídrico sobre a produção da cana-de-açúcar, Farias (2000), relata que o silício pode aumentar a resistência das plantas ao estresse hídrico. Quanto maior o teor de silício na planta, maior a capacidade das plantas em tolerar a falta de água no solo.

Os solos tropicais e subtropicais apresentam, geralmente, baixos teores de silício prontamente disponível para as plantas. O manejo intensivo e a monocultura podem levar rapidamente ao esgotamento de silício no solo e como consequência, reduzir a sustentabilidade de diversas culturas (KORNDÖRFER et al., 2002a).

A cana-de-açúcar é considerada uma espécie acumuladora de silício, com uma concentração de 0,14% desse elemento nas folhas jovens, podendo chegar até 6,7% nos colmos e folhas velhas (KORNDÖRFER & DATNOFF, 1995). A cana-de-açúcar pode extrair até 500 kg de silício por hectare em condições de suprimento adequado desse elemento (KORNDÖRFER et al., 2002a).

As elevadas saturações de alumínio em sub-superfície, impedem o desenvolvimento mais profundo do sistema radicular da cana-de-açúcar. Entretanto, devido as suas características, o gesso agrícola atua no solo como um neutralizante das atividades nocivas do alumínio em profundidade, proporcionando melhorias químicas no subsolo que favorecem maior desenvolvimento do sistema radicular, aumentando a capacidade de absorção de água pela cana-de-açúcar.

Vários estudos realizados no Brasil, mostram que o uso do gesso agrícola tem proporcionado excelentes resultados na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar nas camadas sub-superficiais dos solos, resultando no aumento de produtividade da cultura.

Como hipótese, acredita-se que a aplicação do silício associado ao gesso agrícola poderá aumentar significativamente a produtividade da cana-de-açúcar. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito de gesso agrícola e do silicato de cálcio e magnésio sobre o crescimento, produção e tolerância à seca da cana-de-açúcar cultivada na Zona da Mata do Estado de Alagoas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Cana-de-açúcar: classificação botânica, síntese histórica, aspectos econômicos, morfológicos e ecofisiológicos

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma gramínea que pertence à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, sub-classe Commelinidae, ordem Cyperales, família Poaceae, tribo Andropogonae e sub-tribo Saccharininae (LUCCHESI, 2001). De acordo com Matsuoka et al. (1999), a cana nobre (*S. officinarum* L.), foi utilizada como base para cruzamentos em melhoramento genético devido à maior riqueza em açúcar.

A cultura foi introduzida no Brasil por Martim Afonso de Souza em 1522 (FERNANDES, 1990), oriunda da Ásia (BARNES, 1964). Atualmente o Brasil tornou-se o maior produtor mundial com uma produção total na safra 2011/2012 de 571,47 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, o que permitiu uma produção de 39,9 milhões de toneladas de açúcar, 9 bilhões de litros de etanol anidro e 13 bilhões de litros de etanol hidratado. Toda essa produção ocorreu numa área plantada de 8,2 milhões de hectares, alcançando produtividades médias de 68 t ha⁻¹ (CONAB, 2012).

De acordo com a produção de cana no Brasil, o ranking dos principais produtores é composto por: São Paulo (308.073,2 t), Minas Gerais (49.909,1 t), Goiás (48.032,1 t), Paraná (41.516,8 t), Mato Grosso do Sul (33.988,2 t), Alagoas (29.835,9 t) e Pernambuco (18.430,1 t). O Nordeste contribui com aproximadamente 11% da produção nacional, apresentando diferença significativa quando comparada à produção do centro sul do país (CONAB, 2012).

A cana serve como matéria prima de grande gama de produtos. Além de ser considerada fonte de alimentação animal, produz álcool de vários tipos, a exemplo do etanol, usado como biocombustível, bebidas e gera eletricidade a partir do bagaço via indústria alcoholquímica. Da cana-de-açúcar é aproveitado absolutamente tudo: bagaço, mel, torta e resíduos de colheita (UNIÃO DA AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO – ÚNICA, 2006).

O cultivo da cana-de-açúcar, decorrente da extensão territorial brasileira ocorre em épocas alternadas e nas mais variadas condições climáticas. O Brasil é o único país com duas épocas de colheita anuais: a safra do nordeste vai de setembro a abril e a do centro-sul e demais regiões vai de maio a dezembro, correspondendo aos períodos mais secos nesses locais (ALFONSI et al., 1987).

Sua propagação acontece por meio de pedaços de colmos, denominados toletes. Estes colmos são formados por nós e entrenós (meritálo) apresentando na base zona de radículas de onde saem raízes finas e fibrosas, formando um sistema fasciculado muito desenvolvido. O colmo da cana-de-açúcar é cilíndrico, apresentando diâmetro volumoso e folhas que se originam na base de seus entrenós de forma alternada e com bainhas invaginantes, pêlos comumente lignificados conhecidos como joçal, podendo ou não apresentar inflorescência do tipo panícula. Existem diversas variedades cultivadas no Brasil, frutos do cruzamento híbrido das espécies na busca por variedades resistentes às pragas e com elevado teor de sacarose, armazenado nas células do meritálo (GERMEK, 2005).

A planta é detentora de metabolismo C4, tendo como principal característica elevadas taxas fotossintéticas, sendo altamente eficiente na conversão de energia luminosa em energia química. Outra particularidade da cultura é a produção de muitos perfilhos, sobremaneira, na fase inicial do desenvolvimento, cada qual com diversos nós separados por entrenós. Os entrenós são responsáveis pelo armazenamento da sacarose nas células do parênquima e tecido vascular, sendo o colmo o principal órgão de armazenamento dos fotoassimilados (sacarose), havendo, porém, vários fatores que promovem a inibição ou favorecem o desenvolvimento da cultura (OLIVEIRA et al., 2004).

Para Afonsi et al. (1987), a luz é um fator da maior importância para a cana-de-açúcar, devido à alta eficiência fotossintética da cultura, por se tratar de uma planta C4, quanto maior for a intensidade luminosa, mais fotossíntese será realizada.

As características inerentes a cada genótipo definem o número de colmos por planta, assim como a altura e o diâmetro do colmo, o comprimento e a largura das folhas e a arquitetura da parte aérea, sendo a expressão destes caracteres muito influenciada pelo clima, pelo manejo e pelas práticas culturais utilizadas. As características das variedades influenciam a eficiência fotossintética da cana-de-açúcar, além das variações climáticas que prevalecem durante todo o desenvolvimento. A fotossíntese é correlacionada negativamente com a largura das folhas e positivamente com sua espessura. Uma maior inclinação da folha no colmo traduz-se em maior eficiência fotossintética, sobretudo em populações de alta densidade populacional, devido à penetração mais eficiente da luz no dossel (RODRIGUES, 1995).

Teramoto (2003) relata que a disponibilidade hídrica é o principal fator climático causador de oscilações na produtividade da cana-de-açúcar. Segundo Scardua & Rosenfeld (1987), além das condições climáticas e da água disponível no solo, o consumo de água por parte da cana-de-açúcar varia em função do estágio fisiológico e do ciclo de cultivo, ou seja,

cana-planta ou cana-soca. Dependendo das condições climáticas, a quantidade de água exigida pela cultura durante o ciclo pode variar entre 1500 mm a 2500 mm (OMETTO, 1980).

Nos primeiros meses, a quantidade de água necessária pela cultura é relativamente pequena, porém, quando a planta encontra-se em pleno estágio de desenvolvimento vegetativo, são exigidas grandes quantidades de água (FAUCONNIER & BASSEREAU, 1975), desta forma, a cana-de-açúcar necessita de 250 partes de água para formar uma parte de matéria seca durante todo o período de crescimento (DILLEWIJN, 1952).

Inman-Bamber (2004) relata que alguns processos fisiológicos serão prejudicados se ocorrer estresse hídrico durante o desenvolvimento da cultura, tais como: divisão e alongamento celular, reduzindo o acúmulo de massa seca, a taxa de crescimento da cultura e o índice de área foliar.

2.2 O gesso agrícola

Pertencente à classe dos sulfatos, o gesso agrícola é encontrado em depósitos sedimentares de diversas regiões do mundo. O estado de Pernambuco possui na região do Pólo Gesseiro uma produção de 2,6 milhões de toneladas ano⁻¹, representando em torno de 95 % de todo o gesso brasileiro. Porém, menos de 1% deste total é utilizado na agricultura (NASCIMENTO, 2003).

O gesso agrícola é o sulfato de cálcio dihidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), obtido como subproduto da fabricação de fertilizantes fosfatados. Para produção de ácido fosfórico, as indústrias de fertilizantes utilizam a rocha fosfática como matéria prima e que ao entrar em contato com o ácido sulfúrico mais água, produz, como subproduto da reação, sulfato de cálcio e ácido fluorídrico, o gesso (MALAVOLTA, 1992).

Alguns sulfatos naturais também podem ser encontrados e utilizados em formas menos hidratadas como é o caso da bassanita ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) ou gesso argamassa (VILELA et al., 1995) e ainda na forma anidra (CaSO_4), a anidrita (PORTA, 1998).

A cana-de-açúcar produz sob condições edáficas muito diversas (FREIRE, 2001). Estima-se que em torno de 70 % das áreas cultivadas com cana-de-açúcar no Brasil encontram-se em solos álicos, ou seja, com baixa disponibilidade de bases trocáveis e altos teores de alumínio trocável (KOFFLER, 1986).

A calagem é uma das práticas mais eficientes para correção de problemas de acidez, ocasionada principalmente por elevados teores de alumínio trocável, contudo, os efeitos decorrentes da utilização de calcário, ficam restritos à camada arável ou superficial do solo,

excedendo pouca influência na camada subsuperficial, devido à baixa solubilidade dos corretivos a base de carbonatos e principalmente nas dificuldades encontradas na incorporação mecânica do calcário a profundidades mais elevadas. Nesta situação, estudos realizados por Quaggio (2000), mostram que o uso do gesso agrícola aparece como solução para este problema devido à sua rápida mobilidade na camada arável, aprofundando-se abaixo desta.

O gesso agrícola e o calcário não podem ser substituídos um pelo outro aleatoriamente, pois desempenham diferentes papéis no solo. No caso do calcário, os íons HCO_3^- e OH^- são responsáveis pela elevação do pH do solo, pelo fato de serem importantes aceptores dos prótons H^+ , e pela correção do alumínio tóxico (NASCIMENTO, 2003). Esses efeitos, devido à menor solubilidade do calcário, limitam-se, geralmente, à camada de solo onde houve a aplicação, geralmente a camada arável. Já o gesso agrícola, não deve ser utilizado para substituir o calcário na correção da acidez do solo. Devido ao fato do sulfato não ser um bom acceptor de prótons, os prótons H^+ gerados pela acidez não podem ser eliminados do solo (NASCIMENTO, 2003). O gesso, devido ao ânion sulfato acompanhante, possui a capacidade de deslocar cálcio para camadas mais profundas de solo. Este ânion, por sua vez, pode aliviar a toxicidade de alumínio em subsuperfície, ou seja, abaixo da camada arável pela formação do precipitado sulfato de alumínio.

Por ser relativamente móvel no solo, o gesso agrícola aplicado na camada superficial movimenta-se ao longo do perfil sob influência do excesso de umidade e, como consequência, obtêm-se aumento no suprimento de cálcio, enxofre e redução da toxidez ocasionada pelo alumínio em subsuperfície. Os efeitos positivos do gesso agrícola observados nas mais variadas condições de clima e solo, são indicativos de que seu emprego pode estabelecer uma boa alternativa para a melhoria do ambiente radicular em camadas mais profundas dos solos (SUMNER, 1995).

Nos estudos com a aplicação de gesso são propostos mecanismos de correção da acidez em profundidade que se baseiam na possibilidade do SO_4^{2-} , proveniente da solubilização do $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, movimentar-se no perfil do solo e acumular-se nas camadas mais profundas, neutralizando os efeitos nocivos do Al^{3+} pela formação de AlSO_4^+ , bem como liberação de OH^- da superfície de óxidos e hidróxidos que podem reagir com o alumínio e formar precipitados como o $\text{Al}(\text{OH})_3$ (SALDANHA, et. al., 2007). A formação desse par iônico resultará na redução da saturação por alumínio (m) nas camadas subsuperficiais, permitindo o desenvolvimento do sistema radicular e um melhor aproveitamento de água e nutrientes pelas plantas.

Estudos realizados em diversas regiões canavieiras do país mostram que o uso isolado do gesso agrícola ou em associação com outro corretivo tem proporcionado excelentes resultados, tanto na produção da cana-de-açúcar como no desenvolvimento do sistema radicular da planta em profundidade (MORELLI et al., 1987; MORELLI et al., 1992; SALATA e DEMATTÊ, 1995).

O gesso agrícola tem apresentado resultados satisfatórios como melhorador do ambiente radicular em profundidade, proporcionado pelo aumento dos teores de cálcio e diminuição dos teores de alumínio em subsuperfície (CAIRES et al., 2003).

MORELLI et al. (1992), mostraram que a aplicação de doses combinadas de calcário e gesso em solo cultivado com cana-de-açúcar, proporcionaram incrementos na produção da ordem de 18 t ha⁻¹ em cana planta. Os resultados de produção indicaram que ao longo de quatro cortes, as maiores produções obtidas foram com a associação de calcário + gesso devido às melhores condições químicas do solo em subsuperfície.

MEDINA & BRINHOLI (1998), estudando os efeitos da aplicação de gesso e calcário no comprimento e diâmetro médio dos colmos, no número de colmos e na produção de cana-de-açúcar, verificaram que a associação de calcário + gesso proporcionou os maiores incrementos de produção da cultura.

Outro aspecto do gesso agrícola é sua grande importância como fonte de enxofre, elemento essencial para as plantas e que sua baixa disponibilidade no solo, pode muitas vezes, limitar a produção das culturas (MORAES et al., 1998). Considerando a concentração de enxofre presente no gesso agrícola, doses em torno de 100 a 250 kg/ha deste insumo seriam suficientes para corrigir deficiências desse elemento para grande parte das culturas (ALVAREZ & DIAS, 1994).

Souza e Ritchey (1986), trabalhando com Latossolo Vermelho-Escuro álico, verificaram que com o uso de 6,0 t ha⁻¹ de gesso agrícola, houve um incremento na produção de grãos de milho de 68%, quando comparada com a testemunha, após 25 dias de deficiência hídrica.

Caires et al. (1999), avaliando as alterações químicas do solo pelo uso de gesso em plantio direto na cultura de milho, mostraram que houve redução dos teores de alumínio trocável nas camadas 40-60 e 60-80 cm resultando no aumento de produção em decorrência do fornecimento de enxofre, da melhoria do teor de cálcio trocável em todo o perfil e da redução da saturação por alumínio.

2.3 Silício na agricultura

O Silício é o segundo elemento mais abundante da crosta terrestre e pode ser encontrado no solo nas formas: Silício solúvel ou facilmente aproveitável pelas plantas, forma essa constituída primordialmente pelo ácido monossilícico; Silício adsorvido ou precipitado com óxidos de Fe, Al e Mn (MCKEAGUE & CLINE, 1963); sílica oriunda da decomposição da Matéria orgânica do solo e constituída por formas amorfas (MATICHENKOV & AMMOSOVA, 1996); e silício estrutural em minerais silicatados.

Os solos tropicais e subtropicais apresentam, geralmente, baixos teores de silício prontamente disponível para as plantas. O manejo intensivo e a monocultura podem levar rapidamente ao esgotamento de silício no solo e como consequência, reduzir a sustentabilidade de diversas culturas (KORNDÖRFER et al., 2002a).

O silício é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) e seu transporte e distribuição estão relacionados com a taxa transpiratória. Esta distribuição depende muito da espécie: As gramíneas em geral são consideradas plantas acumuladoras típicas, reduzindo de forma rápida a concentração de silício na solução do solo (MYAKE & TAKAHASHI, 1983). Plantas consideradas não-acumuladoras, como o tomateiro, absorvem o silício de forma mais lenta, aumentando sua concentração no meio (MYAKE & TAKAHASHI, 1983; ADATIA & BESFORD, 1986).

O silício por ser pouco móvel na planta, acredita-se que a sua absorção na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) é de natureza não seletiva e energeticamente passiva. Acredita-se que o transporte do silício ocorre principalmente através do movimento ascendente da água no interior da planta (JONES E HANDRECK, 1965).

O silício forma uma camada na folha e, consequentemente, proporciona uma menor transpiração por diminuir a abertura dos estômatos e um aumento na rigidez estrutural dos tecidos. Com isso, pode-se obter uma maior eficiência do uso da água e menores custos finais de energia (MADEIROS et al., 2009).

De acordo com Farias (2000), o silício pode aumentar a resistência das plantas ao estresse hídrico. Quanto maior o teor de silício na planta, maior a capacidade das plantas em tolerar a falta de água no solo. Nos períodos de seca, a deficiência hídrica leva a uma diminuição no crescimento das plantas principalmente pela redução da fotossíntese causada pelo fechamento estomático. Na maioria das plantas, a fotossíntese e o potencial hídrico foliar são processos fisiológicos sensíveis às variações ambientais, principalmente altas temperaturas e baixa disponibilidade hídrica (DENG et al, 2003).

Os benefícios que o uso do silício proporciona as espécies vegetais, principalmente quando estas plantas são submetidas a algum tipo de estresse de natureza biótica ou abiótica são relatados em vários trabalhos na literatura (Ma et al., 2001; Korndörfer et al., 2002a). Após ser absorvido, o silício é concentrado nos tecidos de suporte do caule e das folhas formando uma dupla camada de sílica-cutícula e sílica-celulose, gerando um baixo coeficiente transpiratório com melhor aproveitamento da água, maior rigidez estrutural dos tecidos, folhas mais eretas proporcionando uma maior área fotossintética e atraso na senescência (EPSTEIN, 1999; MENGEL e KIRKBY, 2001).

Em plantas de arroz, a aplicação de silício reduziu a taxa transpiratória nas folhas, aumentando a produtividade de matéria seca. Esse processo pode estar relacionado à diminuição da condutância estomática, proporcionando uma redução na perda de água. O silício também reduziu a abertura estomática em outras culturas como milho e pepino, embora o processo fisiológico que leva a essa redução não foi esclarecido (GAO et al., 2004).

O silício é considerado um elemento benéfico, ou seja, não pertence ao grupo de elementos essenciais ou funcionais para o crescimento das plantas. No entanto, o crescimento e a produtividade de muitas gramíneas como o arroz e a cana-de-açúcar, têm sido beneficiados com o aumento da disponibilidade de silício para as plantas (ELAWAD & GREEN, 1979).

Os silicatos provenientes das escórias de siderurgia podem ser utilizados na agricultura basicamente como fornecedores de cálcio, magnésio e silício para as culturas, ou também, como corretivo da acidez do solo. Porém, estes materiais, apesar de estarem disponíveis no mercado brasileiro, têm sido pouco comercializados para esse fim (QUAGGIO, 2000).

Prado & Fernandes (2001) relatam que com a aplicação da escória de siderurgia, ocorre normalmente a correção da acidez do solo, ou seja, aumento do pH e precipitação de alumínio e manganês tóxicos tendo em vista a ação do silicato de cálcio, devido à base química SiO_3^{-2} .

A cana-de-açúcar é considerada uma espécie acumuladora de silício, com uma concentração de 0,14% desse elemento nas folhas jovens, podendo chegar até 6,7% nos colmos e folhas velhas (KORNDÖRFER & DATNOFF, 1995).

Sousa et al. (2010) estudando o aproveitamento do silício proveniente da escória siderúrgica pela cana-de-açúcar, observaram o aumento do teor de silício foliar da cana-de-açúcar. Silva e Bohnen (2001) observaram o acúmulo de silício na matéria seca de arroz cultivados em solução nutritiva com e sem a adição de silício.

Madeiros et al. (2009) avaliando os teores de micronutrientes e silício nas folhas da cana-de-açúcar, verificaram que a aplicação de escória siderúrgica no solo aumentou as concentrações foliares de silício.

A cana-de-açúcar é uma gramínea que responde favoravelmente a adubação com silício, principalmente nos solos pobres nesse elemento, por exemplo, quando em rotação com o arroz irrigado e cultivado em solos orgânicos e arenosos da Flórida, verificam-se respostas significativas para a aplicação antes de escórias silicatadas (Anderson, 1991).

Korndörfer et al. (2001), trabalhando com arroz inundado durante o período de 1992-1996, concluíram que houve aumento médio de 1.007 kg ha^{-1} nas parcelas tratadas, em relação à testemunha.

Ayres (1966) relata que no Havaí, ocorreram incrementos entre 10 e 50% nos rendimentos de cana-de-açúcar quando o silicato foi utilizado em solos com baixos teores de silício.

Anderson, et al. (1991) observaram uma redução na produtividade da cana soca, em relação a cana-planta, de até 45% quando a cana-planta não recebeu adubação silicatada e de apenas 28% quando a cana-planta recebeu no plantio, adubação com silicato de cálcio na ordem de: 0; 2,5; 5,0; 10,0 e 20,0 Mg ha^{-1} .

A aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez do solo influenciou positivamente o perfilhamento da cana-de-açúcar, alcançando produtividades na cana-planta e cana-soca de 100 e 75 t ha^{-1} respectivamente, superiores às obtidas com a testemunha: 89 e 58 t ha^{-1} para cana-planta e cana-soca respectivamente (PRADO, 2000).

Outro papel importante que o silício desempenha nas culturas é com relação ao aumento da resistência ao ataque de pragas e doenças. Datnoff et al. (1991) mostraram através de estudos realizados no sul da Flórida, que a adubação com silício reduziu de 17 a 31 % a incidência de brusone e a mancha parda de 15 a 32 %, em relação ao tratamento que não ocorreu aplicação de silício.

Santos et al. (2003), estudando a ocorrência de brusone em arroz inundado, verificaram que a aplicação de silicato promoveu a redução da severidade da brusone nas folhas e um aumento de 47% na produção de grãos de arroz. Segundo Gama et al. (2003) a aplicação foliar de silicato de potássio (K_2SiO_3) em plantas de pepino inoculadas com o fungo *Erysiphe cichoracearum*, causador da doença de oídio, conferiu menor incidência e severidade desta doença, em relação ao tratamento que não recebeu aplicação de silicato de potássio.

Com relação à cana-de-açúcar, vários estudos têm demonstrado que a incidência da broca do colmo da cana-de-açúcar (*Eldana saccharina* e *Diatraea Saccharalis*) pode ser reduzida com o emprego do silício na adubação (ELAWAD et al., 1985; MEYER & KEEPING, 2001).

2.4 Análise de crescimento

A análise de crescimento ou biométrica é de grande importância, uma vez que permite avaliar o desenvolvimento final da planta, integralmente, e a contribuição dos diferentes órgãos no crescimento total da mesma. A partir dos dados de crescimento pode-se estimar-se com bastante precisão, as causas de variações de crescimento entre plantas geneticamente diferentes ou entre plantas crescendo em diferentes condições ambientais (BENINCASA, 1988).

Segundo Santos (2006) a primeira etapa para avaliação da produção de uma determinada variedade é a análise quantitativa de seu crescimento. A análise de desenvolvimento da cana-de-açúcar tem permitido avaliar os efeitos de diferentes formas de adubação, tratos culturais e expressão genética. Com isso, pode ser estudada a produtividade das culturas nos mais variados ambientes e sistemas de produção. Esta análise do crescimento é realizada através de avaliações seqüenciais do acúmulo de fitomassa ou de índices fisiológicos obtidos das plantas (GAVA et al., 2001).

Oliveira et al. (2005) ressaltam que estudos de análise de crescimento em cultivares de cana-de-açúcar possibilitam a avaliação e a quantificação das taxas de crescimento em diferentes condições ambientais. A análise de crescimento é considerada, um estudo importante para estabelecer as diferenças funcionais e estruturais entre cultivares de uma mesma espécie. Podendo ainda, ser usada para observar a adaptação ecológica de cultivares permitindo avaliar e quantificar as taxas de crescimentos, em diferentes condições ambientais e o potencial produtivo destes (PEREIRA e MACHADO, 1987; BENINCASA, 1988).

Segundo Benincasa (1988) existem diferentes tipos de análise de crescimento: linear, que compreende a análise da altura da planta, comprimento do colmo, comprimento e largura das folhas e diâmetro do colmo; Superficial, relacionada à determinação da superfície fotossintética; Peso e número de unidades estruturais, que são as determinações do número de colmos ou perfilhos; Peso, representado pela produção que é resultado da pesagem dos mesmos.

A intensidade do perfilhamento é variável entre as diferentes variedades de cana-de-açúcar. A posição ereta ou mais inclinada da base dos colmos é uma característica da variedade, podendo sofrer efeito da profundidade de plantio. As gemas presentes nos toletes produzem os colmos primários, cujas gemas desenvolvem colmos secundários e esses dão origem aos terciários, sendo que os secundários e terciários podem se apresentar mais desenvolvidos (CASTRO, 2000).

A velocidade da emergência da brotação do colmo depende do cultivar, do estado nutricional e umidade do colmo, da umidade do ar, da disponibilidade hídrica no solo, da temperatura, cujo, as ótimas encontram-se entre 34 e 37°C e as limitantes abaixo de 21°C e acima de 44°C. Outro fator que também influencia a emergência de brotação do colmo é a aeração do solo, visto que, a compactação e drenagem deficientes levam à falta de oxigênio, prejudicando a respiração dos tecidos e das raízes (CASTRO, 2000).

Quando os primeiros perfilhos se desenvolvem, eles ocupam um maior volume de solo e à medida que vão se desenvolvendo, acabam sombreando os perfilhos mais novos, sendo os maiores mais eficientes na competição por água e luz, acabam contribuindo para senescência dos perfilhos mais novos antes que os mesmos tornem-se plantas adultas

Segundo Christoffoleti (1986), o perfilhamento da cana-de-açúcar tende a reduzir com a baixa luminosidade. Em plantas que foram colocadas em casa de vegetação, com baixa luminosidade, foi observada a morte de perfilhos, o que não ocorreu quando a mesma variedade foi plantada em ambiente com luminosidade maior.

O estudo da área foliar em cultivares de cana-de-açúcar permite correlacioná-la com o seu potencial produtivo, seja em massa seca, quantidade de açúcar ou taxas de crescimento. A folha é a estrutura responsável pela produção da maior parte dos carboidratos essenciais ao crescimento e desenvolvimento dos vegetais (HERMANN & CÂMARA 1999).

De acordo com Inmam-Bamber (2004) temperaturas elevadas em períodos de estresse hídrico podem ocasionar a diminuição da área foliar, pois ocorre a aceleração do processo de senescência das folhas verdes. Logo, em condições de estresse hídrico, genótipos susceptíveis a restrição hídrica, seriam mais prejudicados por reduzirem sua massa de folhas e sua área foliar (WAHID, 2004).

O desenvolvimento da área foliar é crítico para o estabelecimento da cultura e o fechamento do dossel e maximização da interceptação da radiação em busca da produtividade da cultura (SINCLAIR et al., 2004).

2.5 Nutrição da cana-de-açúcar

Segundo Epstein & Bloom (2006), a absorção dos nutrientes pelas plantas é um processo ativo, que demanda energia para acumular os elementos essenciais nos tecidos da planta acima das concentrações encontradas na solução do solo.

O nitrogênio é constituinte de aminoácidos, amidas, proteínas ácidos nucléicos, nucleotídeos e coenzimas (TAIZ & ZIEGER, 2004). Este nutriente é o principal responsável pelo aumento do comprimento do colmo, fazendo com que a parede celular fique mais delgada, reduzindo a percentagem de fibra na planta (ORLANDO FILHO, 1983).

O nitrogênio é fundamental no período de formação da cultura, que se inicia imediatamente após a brotação e termina no fechamento do canavial, que normalmente ocorre em torno de 3 a 5 meses após o plantio (ORLANDO FILHO, 1983).

Korndorfer et al. (2002b), ao compararem o efeito da adubação nitrogenada em sete variedades de cana-de-açúcar, em um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, constatou que os teores de fibras nas canas tratadas com N diminuíram com o aumento do nitrogênio.

O fósforo tem posição vital no metabolismo da planta, haja vista que tem papel fundamental nas reações que envolvem ATP. O processo fotossintético requer suprimento adequado de fósforo naquelas partes onde a atividade fisiológica é mais intensa. O teor de fósforo varia consideravelmente dos tecidos mais jovens para os mais velhos (ALEXANDER, 1973).

De acordo com Castro (2000), o fósforo é componente de importantes compostos da planta como os ácidos nucléicos, as coenzimas e os fosfolípidios, sendo que nas células das plantas sua presença é evidente nos compostos ricos em energia como ATP e GTP, o que explica sua grande ocorrência em regiões meristemáticas.

O fósforo, apesar de ser requerido em pequenas quantidades pelos vegetais, é um dos nutrientes aplicados em maiores quantidades nos solos brasileiros, devido a sua baixa disponibilidade natural e afinidade com a fração mineral, o que torna um dos fatores mais limitantes da produção em solos tropicais (RAIJ, 1991).

Após absorvido pela cana-de-açúcar o fósforo atua nos processos metabólicos, concentrando-se principalmente em regiões de crescimento e assimilação de carbono como, por exemplo, colmos em crescimento e folhas novas respectivamente, desta maneira quanto mais velhos os tecidos, menores teores de fósforo serão encontrados (DILLEWIJN, 1952).

O potássio é um elemento essencial para as plantas, sendo sua principal função de ativador enzimático de mais de 60 enzimas, muitas responsáveis pela respiração e

fotossíntese, aumentando a exposição dos sítios ativos para ligação com o substrato (PRADO, 2008).

Segundo Orlando filho (1993), a cana-de-açúcar é considerada uma planta acumuladora de potássio, sendo o nutriente mais absorvido pela cultura. Em uma produção de 100 t de colmos, foi observada uma extração de: N = 143 kg, P = 19 kg, K = 174 kg, Ca = 87 kg, Mg = 49 kg e S = 44 kg, demonstrando alta exigência de potássio pela cultura da cana-de-açúcar, sendo o nutriente mais limitante.

De acordo com Aquino et al., (1993), o potássio estimula o perfilhamento e crescimento vegetativo; aumenta o teor de carboidratos, óleos, lipídeos e proteínas; promove o armazenamento de açúcares; ajuda no processo de fixação do nitrogênio; regula a utilização da água e aumenta a tolerância das plantas à seca, geada e moléstias.

O potássio no solo é absorvido pelas plantas na forma de K^+ . Nas culturas como a cana-de-açúcar esse elemento, atua no processo de assimilação do carbono e translocação de fotossintetizados (CLEMENTES, 1959).

Hartt e Burr (1967) constataram que quando o potássio é encontrado em quantidades limitantes na folha da cana-de-açúcar, as células-guarda dos estômatos permanecem fechadas, acarretando na redução da fotossíntese.

A regulação do potencial osmótico e manutenção da pressão de turgor das células das plantas requerem a presença do íon K. A deficiência de potássio haja vista que ele é importante na abertura estomática e na captação do CO_2 , leva ao fechamento dos estômatos, redução do fluxo CO_2 na folha, restrição fotossintética e menor acúmulo de sacarose e matéria seca (CASTRO, 2000).

O cálcio é absorvido pelas raízes como íons Ca^{2+} e faz parte da lamela média das paredes das células vegetais (TAÍZ & ZIEGER, 2004). O cálcio é um nutriente que apresenta uma baixa mobilidade na planta, desta forma, os sintomas de deficiência ocorrem nas regiões meristemáticas dos ápices de raízes e da parte aérea (OLIVEIRA, 2008).

O magnésio é absorvido pelas plantas na forma Mg^{2+} e é encontrado em maior quantidade nos pontos de crescimento, principalmente nas moléculas de clorofilas. Cerca de 2,7% do peso molecular da clorofila são representados pelo magnésio (ALVAREZ, 1975). O magnésio é requerido por muitas enzimas envolvidas na transferência de fosfatos (TAÍZ & ZIEGER, 2004).

Orlando Filho (1983), estudando a cultura da cana-de-açúcar, observou que a deficiência de magnésio dar-se início com a morte do ápice nas folhas mais velhas e os colmos tornam-se curtos e de diâmetro reduzido.

O ânion sulfato (SO_4^{2-}) é a principal forma mineral do enxofre nos solos sob condições aeróbicas e, preferencialmente, absorvida pelas plantas. Sua dinâmica no solo depende, entre outros fatores, do equilíbrio entre o SO_4^{2-} da solução e o adsorvido aos minerais da fração argila (DYNIA & CAMARGO, 1995).

O enxofre desempenha importante função no metabolismo e, por conseguinte, no ciclo vital das plantas, haja vista que este elemento é constituinte de compostos da planta, como por exemplo, o acetil-CoA, a glutatona e as proteínas. Moléculas contendo enxofre participam da estrutura de aminoácidos essenciais, da clorofila, enzimas e coenzimas, além de participar de diversos processos metabólicos como ativação enzimática (MASCHNER, 1995; COLEMAN, 1996).

A importância dos micronutrientes (boro, cobre, manganês, zinco, ferro, molibdênio) e do silício para a cultura da cana-de-açúcar é comprovada quando se observam as quantidades extraídas e exportadas pela mesma. São requeridos em quantidades relativamente baixas quando comparadas a extração de macronutrientes, porém de fundamental importância ao desenvolvimento da cultura. A carência de micronutrientes pode causar sérios problemas na produtividade e até morte de plantas, haja vista que desempenham funções vitais no metabolismo vegetal (ORLANDO FILHO, 1993 & GUPTA, 2001). Assim como os macronutrientes, os micronutrientes desempenham importantes funções bioquímicas nos vegetais como: armazenagem de energia; manutenção da integridade estrutural; cofatores enzimáticos e regulação de potenciais osmóticos; participação em reações redox (TAIZ & ZIEGER, 2004).

2.6 Estresse hídrico

A deficiência hídrica presente nos períodos de seca pode afetar negativamente o crescimento, desenvolvimento e produtividade das culturas principalmente pela redução da fotossíntese causada pelo fechamento estomático. No entanto, a capacidade da planta responder e sobreviver a essa deficiência hídrica depende dos mecanismos internos expressados pelas respostas celulares da planta. As respostas à deficiência hídrica podem ocorrer dentro de poucos segundos, minutos e até mesmo horas, como uma mudança na expressão gênica (BRAY, 1997).

Inman- Bamber & Smit (2005), verificaram mecanismos distintos de resposta à seca da cana-de-açúcar, com destaque para o controle estomático, enrolamento foliar, tamanho e distribuição do sistema radicular.

O estresse hídrico ocasionado pela perda excessiva de água da planta para a atmosfera na forma de vapor é a principal causa de perdas econômicas e o fracasso de colheita em todo o mundo. Isso é perceptível quando a taxa transpiratória é superior à absorção de água e seu transporte para parte aérea. Os conhecimentos de como os vegetais respondem ao estresse hídrico, são de grande importância para a escolha tanto da variedade como de melhores práticas de manejo, sobretudo, para aperfeiçoar a exploração dos recursos naturais (SMIT & SINGELS, 2006), tendo em vista o melhor aproveitamento da água (ROBERTSON et al., 1999).

De acordo com Bray (1997), o estresse hídrico em plantas inicia-se a partir de uma complexa via de respostas, começando com a percepção do déficit hídrico, o qual desencadeia uma sequência de eventos de ordem molecular, finalizando com várias respostas fisiológicas, metabólicas e de desenvolvimento. Mudanças no potencial osmótico, através da membrana plasmática, pode ser a maior causa de resposta ao estresse hídrico a nível molecular.

Segundo Larcher (2004), na presença de estresse hídrico, a planta passa por uma sucessão de fases. A fase de alarme é o início do distúrbio, ocorrendo perda da estabilidade de proteínas e biomembranas, e inicia com a reação do estresse. Já na fase de resistência, ocorrem processos de reparo, como a síntese proteica e de substâncias de proteção, aumentando a resistência do organismo vegetal. No entanto, se o estresse persistir pode provocar a suscetibilidade das plantas às infecções que ocorrem em consequência da diminuição das defesas culminando com a fase final, ou seja, a morte da planta.

A primeira reação ao déficit hídrico é a diminuição da condutância estomática, reduzindo a perda de água para a atmosfera através da transpiração. Porém, o fechamento dos estômatos têm consequências complexas, exigindo ajustes a nível de fotossíntese e respiração, nutrientes e fluxo de água, além da alteração na distribuição de carbono e nitrogênio (BOHNERT & JENSEN, 1996).

A condutância estomática é um dos principais fatores que regulam o processo fotossintético nos organismos vegetais (MEDRANO et al., 2002). Geralmente, os estômatos se fecham em resposta à seca antes de qualquer mudança no potencial hídrico ou conteúdo de água nas folhas (SOCIAS, et al., 1997). Entretanto, os estômatos também podem fechar quando o déficit de pressão de vapor entre a folha e o ar atmosférico aumenta (OREN et al., 1999), o que ocorre, na maioria das vezes, com a diminuição da umidade relativa do ar com o aumento da temperatura do ar.

O fechamento estomático ocasionado pelo estresse hídrico parece ser a principal causa da diminuição na taxa fotossintética, porém o próprio aparato fotossintético tem se mostrado

muito resistente à desidratação, não só em plantas C3, mas também em C4 (PELLESCHI et al. 1997).

O estresse hídrico severo inibe a divisão celular, a síntese de proteínas, reduz o potencial osmótico, diminuição da condutância estomática e conseqüentemente, a diminuição da fotossíntese. Por outro lado, o potencial hídrico é a medida do grau de hidratação de uma planta e, assim, fornece um índice relativo do estresse hídrico ao qual a planta está submetida (TAIZ E ZEIGER, 2009).

Segundo Bianchi (2004), quando o conteúdo de água no solo decresce, o potencial hídrico no solo e na folha também diminuem e, conseqüentemente, o déficit hídrico se desenvolve nas folhas e as células guardas perdem turgor, provocando o fechamento dos estômatos. O estado energético da folha é indicado pelo seu potencial hídrico, cujos gradientes explicam os fluxos da água no sistema solo-planta-atmosfera (BERGONCI et al., 2000). Guimaraes et al.(2006) relatam que, pequenas diferenças no potencial de água na folha podem ser verificadas quando as plantas já passaram por déficits hídricos e acionaram mecanismos de tolerância.

De acordo com Silva et al. (2004), quando existe uma baixa disponibilidade hídrica no solo as plantas minimizam a perda de água ao reduzir a condutância estomática. A manutenção da turgescência celular em situações de estresse hídrico pode promover ajustes no metabolismo celular, por exemplo, via o acúmulo de substâncias orgânicas, o que contribui para a osmorregulação. Desse modo, As folhas podem manter a turgescência celular com potenciais hídricos mais baixos, o que lhes permite continuarem a crescer e facilitando a manutenção da abertura estomática durante mais tempo (TAIZ & ZEIGER, 2004).

2.7 Avaliação do sistema radicular

A relação planta-água-solo pode ser explicada pela arquitetura e distribuição do sistema radicular, bem como sua dinâmica de crescimento (VASCONCELOS, 2002). Vários estudos têm demonstrado que em torno de 80% da massa de raízes de gramíneas estão concentradas nos primeiros 15 cm de profundidade do solo (BARKER et al., 1988; BRASIL et al., 2000).

De acordo com Rodrigues e Cádima-Zevallos (1991), Bono et al. (2000) e Rodrigues et al. (2001), a profundidade do solo de 0 a 20 cm seria a responsável pela maior proporção do volume radicular. Lee (1926), avaliando a distribuição do sistema radicular da cana-de-açúcar, verificou que grande parte de massa de raízes da cultura encontrava-se na camada de 0

a 20 cm do solo, e que em torno de 85% das raízes encontravam-se até 60 cm de profundidade, sendo que a aeração do solo constituiu o principal fator para que as raízes da cana-de-açúcar tivessem boa superfície de absorção.

O conhecimento do sistema radicular da cana-de-açúcar é de grande importância, haja vista, que permite a utilização adequada das técnicas agrônômicas, além de possibilitar a adequação do método de avaliação de sistema radicular, a cada condição em particular (CASAGRANDE, 1991; VASCONCELOS et al., 2003).

Como o crescimento das raízes é influenciado pelo manejo do solo, a avaliação do sistema radicular de uma cultura é importante para o desenvolvimento de práticas agrícolas (espaçamento, local de aplicação de fertilizantes, práticas de cultivo, etc.) que visam à otimização da produtividade (FANTE JÚNIOR et al., 1994).

Vários trabalhos na literatura têm demonstrado a importância do estudo do sistema radicular de diferentes plantas, apresentando também vários métodos para caracterização de raízes, levando em conta custo, precisão e tempo de análise. Na escolha do método a ser utilizado em um levantamento, além de sua precisão, devem ser considerados os objetivos da pesquisa e quais os parâmetros que devem ser quantificados (JORGE et al., 1996).

Entre os métodos de avaliação do sistema radicular está o método do trado. De acordo com Vasconcelos et al. (2003), o método do trado tem como base do levantamento a extração de porções de solo com raízes; portanto, proporcionam uma amostragem volumétrica melhor que os métodos de perfis, os quais são baseados no levantamento de imagens de um plano único. Ainda segundo o autor, na avaliação do sistema radicular da cana-de-açúcar por diferentes métodos, foi observado que o método do trado juntamente com o método do monólito, resultaram em maiores proporções de raízes na camada 0-20 cm quando comparados aos métodos do perfil. Enquanto os métodos dos monólitos e do trado tiveram proporções entre 49,2 e 63,5 % de raízes na superfície, os métodos do perfil tiveram proporções entre 35,0 e 43,4 % nessa camada.

2.8 Valor SPAD

De acordo com Argenta et al. (2001) o medidor portátil de clorofila SPAD-502 permite leituras instantâneas do teor relativo de clorofila sem promover a destruição da folha, fazendo com que tal método seja caracterizado pela simplicidade e rapidez de operação, além de possibilitar uma avaliação não destrutiva do tecido foliar.

Swiader & Moore (2002) relatam que o medidor SPAD fornece leituras que se correlacionam com o teor de clorofila presente na folha. Os valores são calculados a partir da quantidade de luz transmitida pela folha, em duas regiões de comprimento de onda: a 650 nm (onde ocorre a absorção de luz pela molécula de clorofila) e a 940 nm (onde não ocorre absorção de luz).

Em adição, medições utilizando o SPAD-502 podem ser significativamente correlacionadas com o conteúdo de nitrogênio em folhas de gramíneas temperadas e tropicais, possibilitando a sua utilização como critério de avaliação do estado de nitrogênio das plantas, e auxiliando nos processos de seleção e melhoramento genético de plantas (ARGENTA et al., 2001; GÁBORČÍK, 2003; BLACKMER & SCHEPERS, 1995; GUIMARÃES et al., 1999).

A aplicação do medidor indireto de clorofila Minolta SPAD-502 (Soil Plant Analysis Development) tem sido estudada para diversas culturas, e com resultados satisfatórios quanto à avaliação do estado nutricional de nitrogênio e, conseqüentemente, inferir sobre a necessidade de adubação de muitas culturas (ZOTARELLI et al., 2002). Além do nitrogênio, outros elementos como o enxofre, ferro e manganês provocam clorose nas folhas, em caso de deficiência, o que evidencia sua importância na síntese de clorofila (MALAVOLTA et al., 1997).

Marquard & Tipton (1987), verificaram correlação positiva entre a intensidade do verde e o teor de clorofila das folhas em doze espécies de plantas. Guimarães et al. (1999), observaram correlação entre o teor de clorofila e a concentração de nitrogênio em folhas do tomateiro cultivado em dois tipos de solo.

Silveira (2009) estudando a influência de doses de nitrogênio e enxofre nos atributos de raízes, parte aérea e fertilidade do solo em pastagem com capim-braquiária, observou que na interação entre as doses de nitrogênio x doses de enxofre, o aumento das doses proporcionaram os maiores valores SPAD.

A indicação de que o teor de clorofila na folha está relacionado com o estado nutricional de nitrogênio da planta, também foi observado por Vos & Bom (1993), que estudando o estado de nitrogênio em folha da batata, observaram correlação positiva entre a adição de nitrogênio e o teor de clorofila.

2.9 Ascorbato peroxidase (APX)

O estresse hídrico produz reações degenerativas mediadas pela produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) tais como superóxido (O_2^-), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e radical hidroxila (OH^\cdot) (BADAWI et al., 2004).

Essas espécies oxidativas são tóxicas para as plantas, causando injúrias sobre ácidos nucleicos (IMLAY & LINN, 1988) proteínas e lipídios (MCKERSIC & LESHEM, 1994), resultando em mutações, desnaturação proteica e peroxidação de lipídios de membranas, respectivamente, prejudicando o crescimento e desenvolvimento vegetal.

As plantas possuem um mecanismo de defesa antioxidativo que atua mediante a ativação de um sistema enzimático, que tem como principal função manter o equilíbrio redox na planta em condições ambientais normais ou quando a mesma estiver submetida a algum tipo de estresse (AGARWAL & PANDEI, 2004; MITTLER, 2002).

A ascorbato peroxidase (APX) é uma enzima específica na eliminação do peróxido de hidrogênio em plantas. Esta enzima, catalisa a oxidação dos componentes celulares por peróxido de hidrogênio ou hidroperóxidos orgânicos, sendo indispensável na proteção dos cloroplastos juntamente com outros componentes celulares contra danos provocados pelo peróxido de hidrogênio e radicais hidroxila produzidos (ASADA 1992).

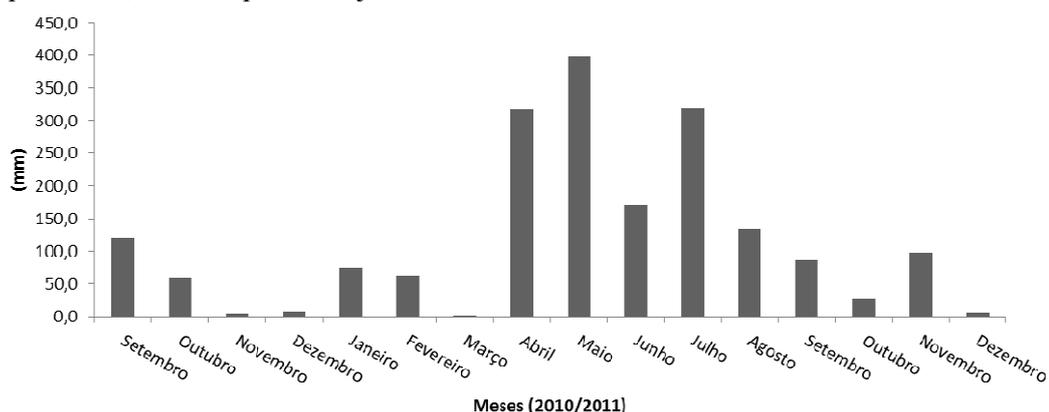
O ascorbato (AsA) é um redutor de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) encontrado nos cloroplastos, mitocôndria, citoplasma e apoplasto (MACH & GREENBERG, 2004). O ascorbato juntamente com a ocorrência de APX nas plantas, é um substrato muito importante na desintoxicação de H_2O_2 em folhas sob estresse. A APX utiliza AsA como doador de elétrons específico para reduzir H_2O_2 em H_2O e O_2 , reduzindo os níveis tóxicos desta espécie reativa em organismos fotossintéticos .

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do ambiente experimental

Para avaliar os efeitos do silicato de cálcio e magnésio e do gesso agrícola em solo cultivado com cana-de-açúcar, foi conduzido, no período de 3 de setembro de 2010 a 16 de dezembro de 2011, um experimento em área agrícola da Usina Capricho, localizada no município de Cajueiro, Zona da Mata do Estado de Alagoas, sob as coordenadas geográficas 9° 25' S e 36° 06' W. De acordo com o sistema de Köppen, o clima dominante é o As', tropical chuvoso com verão seco, com precipitação média anual da ordem de 1309,9 mm (KOFFLER et al., 1986). Entre a aplicação dos tratamentos e a última coleta a precipitação acumulada foi de 1882,7 mm (Figura 1).

Figura 1. Pluviometria no período de setembro de 2010 a dezembro de 2011 na área experimental, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011.



Fonte: Usina Capricho (2011).

A caracterização química e física do solo foram realizadas em três profundidades ao longo do perfil nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm, para determinação de pH em água, acidez potencial (H+Al), matéria orgânica (M.O.), alumínio (Al⁺³), hidrogênio (H⁺), potássio (K⁺), fósforo (P), cálcio (Ca⁺²), magnésio (Mg⁺²), sódio (Na⁺), ferro (Fe⁺²), cobre (Cu⁺²), zinco (Zn⁺²), manganês (Mn⁺), soma de bases (SB), capacidade de troca catiônica (CTC), saturação por bases (V%), saturação por alumínio (m%), carbono H_A, densidade do solo (DS), densidade das partículas (DP), porosidade total (PT), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e composição granulométrica (areia, silte e argila), as quais foram realizadas de acordo com a metodologia descrita pela EMBRAPA (1997) (Tabela 1).

Tabela 1. Caracterização química e física do solo da área experimental em três profundidades, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. SB⁽¹⁾: Soma de Bases; CTC⁽²⁾: Capacidade de Troca Catiônica; V⁽³⁾: Saturação por Bases; M⁽⁴⁾: Saturação por alumínio. DS⁽⁵⁾: Densidade do Solo; DP⁽⁶⁾: Densidade da Partícula; PT⁽⁷⁾: Porosidade Total; CC⁽⁸⁾: Capacidade de Campo; PMP⁽⁹⁾: Ponto de Murcha Permanente

CARCTERÍSTICA	PROFUNDIDADE (cm)		
	0-20	20-40	40-60
pH (H ₂ O 1:25)	5,3	4,9	4,9
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	2,10	1,10	0,80
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³)	2,00	0,30	1,20
K ⁺ (cmolc dm ⁻³)	0,08	0,07	0,06
Na (cmolc dm ⁻³)	0,03	0,04	0,04
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³)	1,00	1,40	1,20
H ⁺ (cmolc dm ⁻³)	3,50	3,70	3,00
H+Al (cmolc dm ⁻³)	4,50	5,10	4,20
SB ⁽¹⁾ (cmolc dm ⁻³)	4,21	1,51	2,10
CTC ⁽²⁾ (cmolc dm ⁻³)	8,71	6,61	6,30
P (mg dm ⁻³)	6,00	1,00	1,00
Fe (mg dm ⁻³)	196,50	138,30	104,30
Cu (mg dm ⁻³)	0,70	0,60	0,70
Zn (mg dm ⁻³)	1,00	0,20	0,10
Mn (mg dm ⁻³)	13,10	1,90	0,70
V ⁽³⁾ (%)	48,34	22,84	33,33
M ⁽⁴⁾ (%)	19,19	48,11	36,36
C (%)	1,73	1,11	1,32
M.O. (%)	2,98	1,91	2,28
DS ⁽⁵⁾ (g cm ⁻³)	1,19	1,06	1,03
DP ⁽⁶⁾ (g cm ⁻³)	2,56	2,60	2,67
PT ⁽⁷⁾ (%)	53,70	59,01	61,44
CC ⁽⁸⁾ (%)	15,21	17,68	19,08
PMP ⁽⁹⁾ (%)	8,96	9,66	11,45
Areia (g kg ⁻¹)	510	370	410
Silte (g kg ⁻¹)	110	150	50
Argila (g kg ⁻¹)	380	480	540

Fonte: Estação Experimental de Cana-de-açúcar do Carpina, Carpina-PE (2010) e Laboratório de Análises de Produtos Agropecuários, Rio Largo-AL (2010).

3.2 Definição dos tratamentos e procedimentos experimentais

O delineamento experimental empregado foi o de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições.

Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco doses de silicato de cálcio (0, 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹) e duas doses de gesso agrícola (0 e 1,9 Mg ha⁻¹) aplicadas antes do plantio. As cinco doses de silicato de cálcio representam as parcelas e as duas doses de gesso representam as subparcelas. Cada subparcela foi composta de cinco linhas de cana-de-açúcar com 10 m de comprimento, espaçadas de 1 m entre si, totalizando 50 m². A área útil da parcela foi constituída pelas três linhas centrais, representada por 30 m².

No plantio da cana-de-açúcar ficou estabelecido uma densidade de plantio de 15 gemas por metro linear de sulco.

O gesso utilizado no experimento foi proveniente de jazidas de gipsita (CaSO₄ · 2H₂O) do pólo gesseiro do Araripe em Pernambuco. A caracterização do gesso agrícola foi feita no Laboratório de Fertilizantes e Corretivos da Universidade Estadual Paulista, Campus Botucatu (Tabela 2). A fonte de silicato de cálcio adotada foi o produto denominado de Agro Silício, derivado da produção de aço inox. Esse produto é utilizado como padrão na maioria das pesquisas relacionadas ao Silício no Brasil devido ao seu alto grau de pureza (KORNDÖRFER & GASCHO, 1999).

Tabela 2. Caracterização do gesso agrícola utilizado na área experimental, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011.

CaO	S	Umidade
	%	
45,86	20,30	19,18

Fonte: Laboratório de Fertilizantes e Corretivos, UNESP, Botucatu, 2011.

O Agro silício utilizado no experimento foi classificado como dolomítico e as porcentagens passantes nas peneiras ABNT 10, ABNT 20 e ABNT 50 foram 100, 99,9 e 71,4 respectivamente. A caracterização do Agro Silício (Tabela 3) foi realizada no Laboratório de Análises de Solos e Calcários da Universidade Federal de Uberlândia – MG.

Tabela 3. Caracterização química e física da escória siderúrgica utilizada na área experimental, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. PN: poder de neutralização; RE: reatividade; PRNT: poder relativo de neutralização total.

Si Total	Si Solúvel	CaO	CaCO ₃	MgO	MgCO ₃	PN	RE	PRNT
				%				
13,81	7,82	39,8	70,8	9,7	20,4	87,5	88,5	77,4

Fonte: Laboratório de Análises de Solos e Calcários, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia – MG.

A aplicação do Silício foi realizada de forma a proporcionar distribuição uniforme no fundo e nas paredes do sulco de plantio. O gesso por sua vez foi aplicado em cobertura, área total, quando os sulcos já se encontravam fechados, seguindo metodologia descrita por Souza et al. (1996).

As operações de preparo do solo, sulcagem, adubação, aplicação de silício e gesso, aplicação de inseticida (Regent 250g há⁻¹) e plantio da cana-de-açúcar, foram realizados entre os meses de agosto e setembro de 2010. Vale destacar que esses meses estão dentro do período considerado ideal para plantio da cana-de-açúcar de sequeiro no estado de Alagoas. A adubação realizada no sulco de plantio, 600 kg ha⁻¹ da formulação 08-22-20, foi baseada no resultado da análise de solo coletado antes da instalação do experimento. Foi utilizado como referência para o cálculo da quantidade de adubo por hectare a ser aplicada, a recomendação de adubação da Comissão Pernambucana de Fertilidade do Solo (1998). Aos 150 DAP houve a aplicação de 60 mm de água via irrigação por canhão.

3.3 Caracterização da variedade

A variedade utilizada no experimento foi a RB92579 indicada pelo Grupo de Pesquisa em Melhoramento Genético de Variedades de Cana-de-açúcar da Universidade Federal de Alagoas, considerando-se características de adaptação regional e representatividade pela área plantada no estado de Alagoas.

Características morfológicas: Hábito de crescimento ereto, arquitetura foliar com pontas curvas, copa de volume regular e tonalidade intermediária, folhas de limbo largo e fraco serrilhamento do bordo, difícil despalha, palmito curto de seção circular de cor verde-roxa e fraca presença de cera, entrenós cilíndricos de comprimento e diâmetro médios de aspecto manchado com pouca cera, de cor roxa ao sol e amarelo-verde sob a palha e gema do tipo triangular.

Características Agroindustriais: Características como alta brotação, alto perfilhamento em cana-planta e soca, proporcionam um bom fechamento de entrelinhas. Considerada de maturação média, esta variedade apresenta no meio de safra, alta produtividade agrícola e teor de sacarose alto, com longo PUI, e médio teor de fibra. Não apresenta restrição a ambiente de produção. Intermediária a escaldadura das folhas e resistente a ferrugem (SIMÕES NETO et al., 2005).

3.4 Avaliações de crescimento

Para avaliação do crescimento da cana-de-açúcar, identificaram-se 10 plantas nas três linhas centrais do cultivo, onde aos 90, 180, 270 e 360 DAP, foram coletados dados de altura do colmo, diâmetro do colmo, área foliar e número de perfilhos.

A altura do colmo foi mesurada com auxílio de uma fita métrica a partir do nível do solo até a lígula da folha (+1) e a medição do diâmetro do colmo foi realizada utilizando-se um paquímetro no terço médio da planta. A área foliar foi determinada por meio da contagem do número de folhas verdes (folha totalmente expandida com o mínimo de 20% de área verde, contada a partir da folha +1) e pelas medições nas folhas +3, sendo obtidos o comprimento e a largura da folha na porção mediana, segundo metodologia descrita por Hermann & Câmara (1999): $AF = C \times L \times 0,75 \times (N + 2)$, em que C é o comprimento da folha +3, L é a largura da folha +3, 0,75 é o fator de correção para área foliar da cultura, e N é o número de folhas abertas com pelo menos 20% de área verde.

Também, nas três linhas centrais foi quantificado o perfilhamento médio das variedades, contando-se o número de plantas por metro linear de sulco.

3.5 Análises químicas

Aos 270 DAP foi avaliado o estado nutricional da cana-de-açúcar por meio da coleta da folha-índice (+3), contada a partir da primeira folha com bainha visível, coletando-se o terço médio da folha, excluindo-se a nervura central (GALLO et al., 1968). Cada amostra foi constituída de 20 folhas, coletadas, aleatoriamente, dentro da área útil das parcelas. Em seguida as amostras foram secas a 65°C em estufa com circulação forçada de ar ate atingir peso constante. Posteriormente, procedeu-se a moagem (em moinho tipo Willey) das amostras para determinação dos teores de silício, macro e micronutrientes. As amostras foram analisadas pelo Laboratório de Análises de Solos e Calcários da Universidade Federal de Uberlândia – MG e seguiram metodologia proposta pela EMBRAPA (1997).

Para fósforo (P), Potássio (K), cálcio (Ca), Magnésio (Mg), Enxofre (S), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Manganês (Mn) e Zinco (Zn) realizou-se a digestão nitroperclórica. Para o silício (Si) realizou-se a digestão em forno de microondas e determinação em espectrofotometria de chamas. O Nitrogênio (N) foi determinado por digestão sulfúrica enquanto que o boro (B) foi determinado pelo método Colorimétrico Azometina-H.

3.6 Variáveis agroindustriais

Aos 470 DAP, a produtividade agrícola em toneladas de colmo por hectare (TCH) foi avaliada pesando-se os colmos das três linhas centrais, com auxílio de dinamômetro após a colheita. Em seguida, formou-se um feixe de quatro colmos, que foram encaminhados ao Laboratório Agroindustrial da Usina Capricho e determinada às seguintes características industriais: tonelada de pol por hectare (TPH), sólidos solúveis totais (BRIX), açúcares polarizáveis da cana (PC), açúcares polarizáveis (POL), açúcares totais recuperáveis (ATR), pureza e fibra (%).

3.7 Avaliação do desenvolvimento radicular

Sete dias após a colheita da cana e limpeza da área, foram coletadas amostras de solo + raízes com auxílio de trado tipo caneco nas camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm (volume de 1,62 dm³), para a avaliação do desenvolvimento radicular da cana-de-açúcar, seguindo as recomendações metodológicas de Vasconcelos et al. (2003) com modificações. Em cada subparcela, duas amostras de solo + raízes foram coletadas a 25 cm de distância de cada linha de cana. As amostras de solo com raízes de cada camada de 20 cm de profundidade foram lavadas em peneiras com malha de 2 mm, e as raízes foram secas em estufa a 65°C, por 96 h. Posteriormente, foram pesadas em balança semianalítica.

3.8 Potencial hídrico foliar (ψ_w)

Aos 460 DAP foi medido o potencial hídrico foliar utilizando uma bomba de pressão de Scholander (Soil Moisture, Equipment Corporation, Santa Barbara, USA) às 4:30h (antemanhã) e às 12:00h (meio-dia) utilizando a folha +2. As folhas foram seccionadas na lígula, separadas em sacos plásticos e acondicionadas em caixa térmica com gelo (sem contato com o gelo) a fim de minimizar a perda de umidade. Após a coleta, foram realizadas as leituras de potencial hídrico.

3.9 Potencial de solutos (ψ_s)

Aos 460 DAP para a determinação da osmolalidade total do tecido foliar, coletou-se amostras do terço médio da mesma folha utilizada na determinação do ψ_w (folha +2), às 4:30h

(antemanhã) e às 12:00h (meio-dia), de onde se extraiu o suco celular por prensagem, transferindo-o para tubos de 1,5 mL, sendo posteriormente armazenada em -20 °C. Um osmômetro de pressão de vapor VAPRO 5520 (Wescor Inc. Logan, UT, USA), foi utilizado para obtenção dos valores de ψ_s . Para cada leitura foram utilizadas alíquotas de 10 μ L de suco celular e os valores expressos em MPa.

3.10 Índice SPAD

A medida indireta da clorofila (leitura SPAD) foi realizada aos 460 DAP através do método não destrutivo, utilizando-se o Clorofilômetro, SPAD-502 (Minolta Corporation, Ramsey, Japan), sendo as médias obtidas de dez leituras por parcela, utilizando-se a folha +2.

3.11 Ascorbato Peroxidase (APX)

Aos 460 DAP, coletou-se amostras do terço médio da folha +2 para a determinação da ascorbato peroxidase (APX). A determinação da APX foi realizada de acordo com Nakano & Asada (1981). O extrato foi descongelado e mantido a 4°C. A reação se deu em espectrofotômetro (Thermo Scientific Genesys 10, Madison, USA) durante 1 min a 290 nm em cubeta de quartzo. O meio de reação usado na análise foi composto por (Tampão TFK 50 mM (pH 7,5); H₂O₂ 0,1 mM; ascorbato de sódio 0,5 mM; H₂O deionizada), (mantidos a 25°C em banho maria) e 25 μ L do extrato com um volume final de 1,0 mL. Para os cálculos da atividade da APX usou-se o coeficiente de extinção 2,8 mM⁻¹ cm⁻¹. Os valores foram expressos em μ mol APX min⁻¹ mg⁻¹ de proteína.

3.12 Proteínas solúveis das enzimas antioxidantes

Para a determinação dos teores de proteínas solúveis foi usado uma fração de 50 μ L do extrato enzimático descrito anteriormente (não tratado com ácido tricloroacético), e completado para 1 mL com reagente Coomassie (BRADFORD, 1976), o qual, foi preparado, dissolvendo-se 111,0 mg de (Coomassie Brilliant Blue G-250), em 50 mL de etanol 95% com agitação constante, sem aquecimento, durante uma hora. Adicionou-se 100 mL de ácido fosfórico (H₃PO₄) 85% e o volume completado com água deionizada até 1000 mL. Em seguida realizaram-se duas filtrações em papel de filtro qualitativo e o reagente foi mantido

em frasco escuro sob ambiente refrigerado. As proteínas solúveis foram estimadas pelas medidas de absorvância a 595 nm, utilizando como branco a mistura de 50 µL do tampão de extração e 950 µL do reagente de Bradford. O padrão utilizado foi a albumina sérica bovina (Sigma Chemical Company). Os resultados foram expressos em mg g⁻¹ MF. Cada amostra foi representada por um extrato simples com um total de três repetições.

3.13 Análises estatísticas

Todos os dados originais foram submetidos à análise de variância a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, sendo as médias dos tratamentos comparadas pelo teste de Tukey. Os dados referentes às doses de silicato de cálcio e magnésio foram submetidos à análise de regressão calculada para equações lineares e quadráticas e aceitas as equações significativas até 5% de probabilidade pelo teste F, com o maior coeficiente de determinação (R^2). Para as análises foram utilizados os programas estatísticos Sisvar e Statística.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliações de crescimento

O silicato de cálcio e magnésio não teve efeito sobre altura de planta, diâmetro de colmo, número de folhas, área foliar e número de perfilhos aos 90 DAP (Tabela 4). A aplicação de gesso não teve efeito sobre os mesmos parâmetros durante todo o ciclo da cultura (Tabela 5).

Tabela 4. Análise biométrica da cana-de-açúcar aos 90, 180, 270 e 360 dias após o plantio (DAP) em função da aplicação de silicato de cálcio e magnésio, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Biometria Cana-de-açúcar (90 DAP)					
Doses de silicato	Altura de Planta	Diâmetro do Colmo	Nº de Folhas	Área Foliar	Nº de Perfilhos
Mg há ⁻¹	cm	cm	unidade	cm ² planta ⁻¹	unidade
0	26,10	1,45	5,27	1376,70	19,26
1	27,16	1,33	4,95	1300,37	18,76
2	27,31	1,45	5,43	1404,68	18,45
3	27,72	1,34	5,28	1458,90	20,58
4	26,70	1,40	4,88	1364,11	19,55
	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	9,88	8,83	14,47	15,47	13,74
Biometria Cana-de-açúcar (180 DAP)					
0	86,58	2,07	4,92	2301,85	16,57
1	87,63	2,03	5,22	2282,32	16,97
2	88,97	2,15	5,00	2078,93	19,10
3	90,85	2,17	4,88	2323,05	18,30
4	92,50	2,21	5,47	2521,78	20,31
	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	6,77	6,23	29,47	27,60	10,96
Biometria Cana-de-açúcar (270 DAP)					
0	207,57	2,40	7,17	4806,56	13,92
1	204,92	2,40	7,20	4710,67	13,62
2	199,08	2,36	7,25	4732,63	13,33
3	204,53	2,39	7,56	5096,53	13,46
4	208,23	2,36	7,21	4963,72	13,71
	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	6,01	5,98	5,55	10,77	7,64
Biometria Cana-de-açúcar (360 DAP)					
0	258,80	2,33	7,01	4268,99	12,98
1	252,76	2,38	7,10	4370,06	14,37
2	249,88	2,33	7,06	4410,46	14,12
3	260,51	2,31	7,16	4648,88	13,66
4	257,93	2,34	7,07	4554,21	14,71
	ns	ns	ns	ns	ns
CV(%)	3,44	6,26	6,77	9,31	9,18

Fonte: Autor, 2012.

A falta de resposta da cana-de-açúcar ao silício aos 90 DAP pode ser justificada, pelo fato das plantas se encontrarem ainda em estádios iniciais de desenvolvimento.

De acordo com Korndörfer et al. (2002a), o silício é absorvido pela planta na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4) juntamente com a água via fluxo de massa. Desta forma, como neste período (90 DAP), as chuvas na região onde estava localizado o experimento, já se tornavam escassas, era de se esperar que os efeitos das doses de silicato de cálcio e magnésio não apresentassem efeitos sobre a altura de planta, diâmetro de colmo, número de folhas, área foliar e número de perfilhos.

Tabela 5. Análise biométrica da cana-de-açúcar aos 90, 180, 270 e 360 dias após o plantio (DAP), em função da aplicação de gesso agrícola, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. Médias seguidas por letras iguais na coluna, não diferem entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Biometria Cana-de-açúcar (90 DAP)					
Tratamentos	Altura de Planta	Diâmetro do Colmo	Nº de Folhas	Área foliar	Nº de Perfilhos
	cm	cm	unidade	cm ² planta ⁻¹	unidade
Sem gesso	27,12 a	1,38 a	5,26 a	1418,38 a	19,82 a
Com gesso	26,88 a	1,41 a	4,96 a	1343,52 a	18,82 a
DMS	1,67	0,09	1,04	322,53	3,34
CV(%)	9,35	10,42	30,38	35,16	26,06
Biometria Cana-de-açúcar (180 DAP)					
Sem gesso	87,64 a	2,10 a	4,48 b	2221,73 a	18,03 a
Com gesso	90,97 a	2,16 a	5,72 a	2477,33 a	18,47 a
DMS	3,91	0,16	0,93	412,18	1,63
CV(%)	6,59	11,73	27,70	26,41	13,51
Biometria Cana-de-açúcar (270 DAP)					
Sem gesso	203,15 a	2,43 a	7,12 a	4763,68 a	13,03 a
Com gesso	206,59 a	2,33 a	7,43 a	4960,37 a	14,19 a
DMS	7,45	0,10	0,49	592,57	1,23
CV(%)	5,48	6,39	10,23	18,34	13,71
Biometria Cana-de-açúcar (360 DAP)					
Sem gesso	255,38 a	2,33 a	7,10 a	4259,57 a	13,74 a
Com gesso	256,58 a	2,35 a	7,06 a	4641,47 a	14,20 a
DMS	9,69	0,11	0,42	578,28	1,92
CV(%)	5,70	7,39	9,00	19,56	20,76

Fonte: Autor, 2012.

Aos 180 DAP, o silicato de cálcio e magnésio não influenciou a altura de planta, diâmetro do colmo, número de folhas, área foliar e número de perfilhos, ou seja, não houve incrementos nestes valores à medida que se aumentou as doses de silicato de cálcio e magnésio (Tabela 4). A melhor condição de umidade do solo favorece as reações do silicato de cálcio e magnésio e do gesso agrícola no solo. Apesar disso, não ocorreram diferenças entre os tratamentos aos 180 DAP.

O gesso causou um aumento de 27,68% no número de folhas aos 180 DAP em relação às plantas cultivadas na ausência de gesso, porém, não afetando a área foliar (Tabela 5).

Nas avaliações biométricas realizadas aos 270 e 360 DAP, não foi possível detectar efeitos do silicato e do gesso agrícola sobre a altura de planta, diâmetro de colmo, número de folhas, área foliar e número de perfilhos (Tabelas 4 e 5). Isso ocorreu provavelmente porque o crescimento máximo da cultura ocorre durante o seu desenvolvimento inicial, seguindo de acréscimo gradual até a fase de maturação (RAMESH, 2000; GAVA et al., 2001). Aos 270 DAP, a cultura possivelmente já estava iniciando a sua maturação.

Os resultados encontrados no presente estudo, discordam dos encontrados por Madeiros et al. (2008) que utilizando doses de silicato (0, 1, 2, 3 e 4 Mg ha⁻¹) encontraram diferença na altura de planta, diâmetro de colmo e número de perfilhos na variedade RB92579.

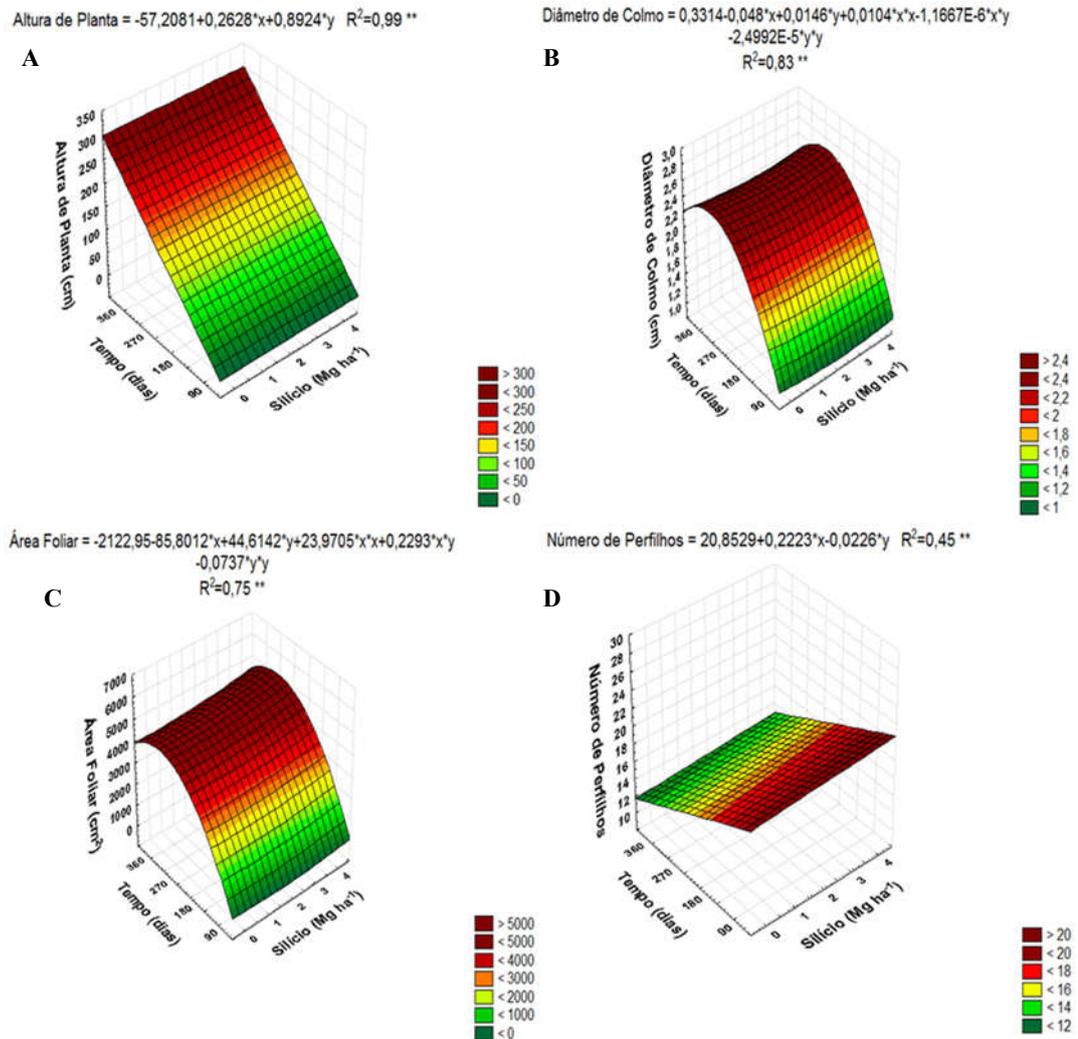
A redução do número de perfilhos aos 270 e 360 DAP em relação aos 90 e 180 DAP, deve-se ao fato de quando os primeiros perfilhos se desenvolvem, eles ocupam um maior espaço no solo e à medida que vão se desenvolvendo, acabam sombreando os perfilhos mais novos, sendo os maiores mais eficientes na competição por água e luz, acabam contribuindo para senescência dos perfilhos mais novos antes que os mesmos tornem-se plantas adultas.

A variedade RB92579 apresentou um crescimento linear na altura de planta durante o tempo de cultivo (Figura 2A). Aos 180, 270 e 360 DAP, foram observadas alturas médias de planta de 88,62; 204,87 e 255,98 cm, ou seja, um incremento de 61,62; 177,87 e 228,98 cm respectivamente em relação à altura média de planta observada aos 90 DAP, que foi de 27,0 cm.

Costa (2009), avaliando o crescimento de quatro variedades de cana-de-açúcar, observou que a variedade RB92579 se destacou das demais obtendo um crescimento diário de 1,21 cm, chegando à altura de 275,1 cm no período da colheita. De acordo com Silva (2007), a ocorrência de um período de escassez hídrica na fase inicial do crescimento do colmo, levaria as variedades a permanecerem crescendo após 360 DAP, provavelmente, esse fato contribuiu para o comportamento da variedade utilizada no presente estudo apresentar um crescimento linear observado até a última época de avaliação (360 DAP).

O diâmetro do colmo aumentou ao longo do ciclo da cultura (Figura 2B). Os valores médios observados para diâmetro de colmo aos 90, 180, 270 e 360 DAP foram 1,39; 2,16; 2,38 e 2,34 cm respectivamente. Foi observado um aumento gradual no diâmetro do colmo até aos 270 DAP, seguido de uma leve diminuição até os 360 DAP.

Figura 2. Superfície de resposta de altura de planta (A), diâmetro de colmo (B), área foliar (C) e número de perfilhos (D) em função da interação Tempo x Silício, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ** significativo a 1% de probabilidade.



Fonte: Autor, 2012.

De acordo com Silva (2007), variedades que apresentam os menores diâmetros médios tendem a perfilhar mais. Oliveira (2008), estudando o desenvolvimento de variedades precoces e tardias de cana-de-açúcar, observou que a RB92579 foi uma das variedades que apresentou os menores valores médios para diâmetro de colmo ao longo do tempo de cultivo, com valores inferiores a 2,4 cm, por outro lado, foi uma das variedades que apresentou o maior número de perfilhos por metro linear de sulco. Esses resultados corroboram com os encontrados no presente estudo, haja vista, que os valores médios do diâmetro de colmo foram inferiores a 2,4 cm.

A área foliar aumentou ao longo do ciclo, permitindo um ajuste quadrático (Figura 2C). Os valores médios de área foliar foram 1380,95; 3357,65; 4862,02 e 4450,52 cm² planta⁻¹ aos 90, 180, 270 e 360 DAP respectivamente. Foi observado um aumento na área foliar até os 270 DAP, seguido de uma leve diminuição até os 360 DAP.

O número de perfilhos diminuiu ao longo do ciclo, permitindo um ajuste linear (Figura 2D). Foi possível observar que o perfilhamento máximo ocorreu aos 90 DAP, apresentando em torno de 19 plantas por metro linear. Aos 180, 270 e 360 DAP, foi observada uma redução linear com relação ao número de perfilhos. De acordo com Castro (2000) e Oliveira et al. (2004), o perfilhamento da cana-de-açúcar pode ocorrer até os quatro meses após o plantio e a partir desse período, inicia-se uma redução no número de perfilhos.

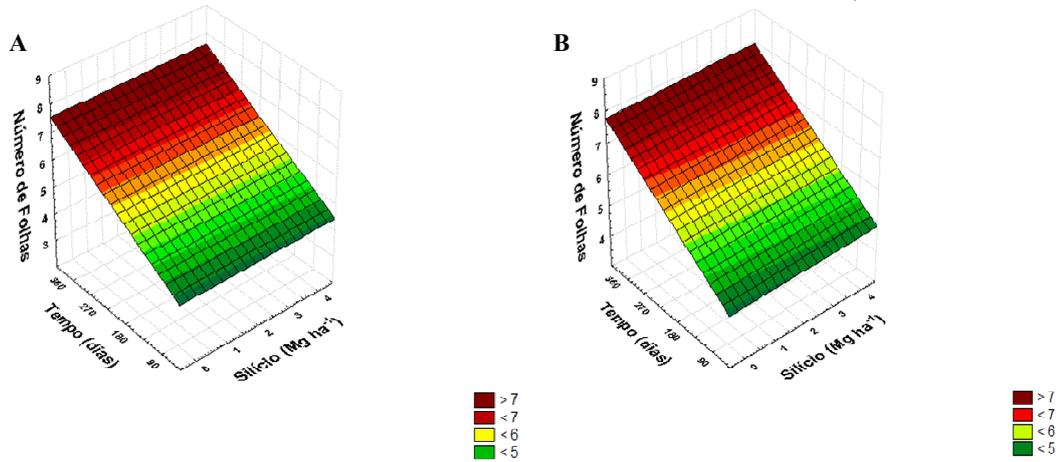
Os resultados encontrados nesse trabalho corroboram com os encontrados por Costa (2009), que estudando o crescimento de quatro variedades de cana-de-açúcar ao longo do ciclo, observou que a variedade RB92579 foi a que apresentou o maior perfilhamento aos 90 DAP, em torno de 27 plantas por metro linear. Oliveira (2008), estudando o desenvolvimento de variedades precoces e tardias de cana-de-açúcar, observou que a RB92579 juntamente com a SP81-3250 apresentaram os maiores números de perfilhos no início do ciclo, com valores médios superiores a 15 plantas por metro linear. Silva (2007) analisando o crescimento de sete variedades de cana-de-açúcar verificou que a variedade RB92579 apresentou um maior número de perfilhos por metro linear de sulco, porém, esse número de perfilhos foi reduzindo ao longo do ciclo de cultivo.

O número de folhas aumentou em função da interação Tempo x Gesso (Figura 3). Foi verificado um aumento linear para o número de folhas ao longo do ciclo independente da aplicação do gesso agrícola (Figuras 3A e 3B). As plantas tratadas com gesso apresentaram um maior número de folhas aos 90, 180 e 270 DAP, cujo, os valores foram 5,07, 5,72 e 7,43 respectivamente em relação às plantas cultivadas na ausência de gesso, com exceção do número de folhas obtido aos 360 DAP, onde as plantas tratadas com gesso apresentaram um número de folhas inferior aos das plantas cultivadas sem a presença do gesso agrícola.

Figura 3. Superfície de resposta do número de folhas sem aplicação de gesso agrícola (A) e com aplicação de gesso agrícola (B) em função da interação Tempo x Silício, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ** significativo a 1% de probabilidade.

$$\text{Número de Folhas} = 3,9238 + 0,0131 \cdot x + 0,0091 \cdot y \quad R^2 = 0,68^{**}$$

$$\text{Número de Folhas} = 4,2237 + 0,0356 \cdot x + 0,0089 \cdot y \quad R^2 = 0,51^{**}$$



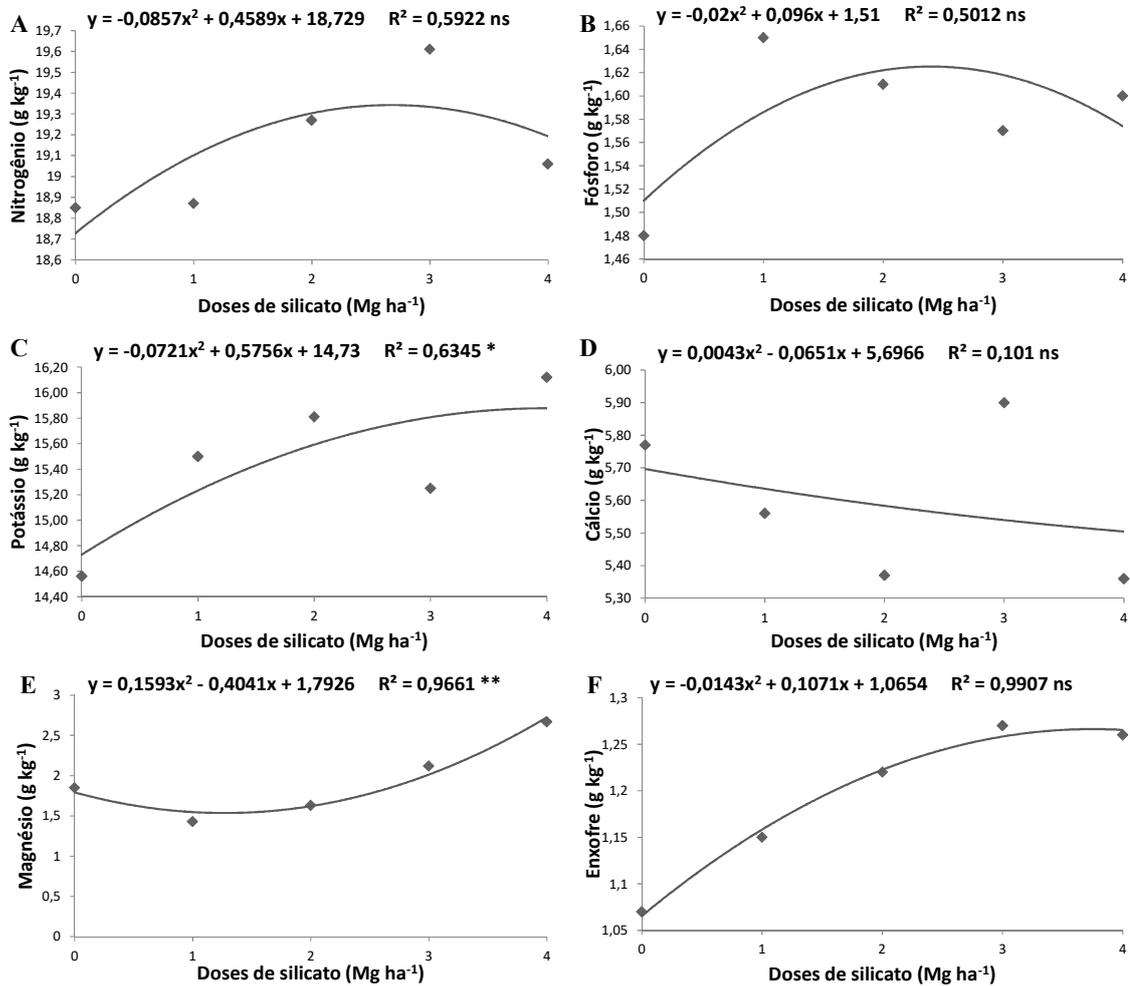
Fonte: Autor, 2012.

4.2 Teores de nutrientes em folha

O silício e o gesso agrícola não influenciaram os teores foliares de nitrogênio e fósforo (Figuras 4A e 4B). Apesar de o silício e o gesso não terem influenciado o teor foliar de fósforo, vale ressaltar que os tratamentos que apresentaram os menores teores foliares de fósforo, tiveram um menor número de folhas e um menor número de perfilhos por metro linear de sulco. Entre os sintomas de deficiência de fósforo estão o baixo perfilhamento e a redução do número de folhas, o que acaba causando redução da área foliar (LYNCH et al., 1991; MALAVOLTA et al., 1997; RODRÍGUEZ et al., 1998).

O silicato de cálcio e magnésio e o gesso agrícola não tiveram efeito sobre o teor foliar de cálcio (Figura 4D). A hipótese mais provável é que o acúmulo de cálcio no tecido foliar pode ter sido afetado devido à presença de outros cátions como magnésio, potássio e manganês (HEENAN & CAMPBELL, 1981), cujo os teores mostraram-se significativos na folha. A presença desses elementos pode inibir a absorção de cálcio e vice-versa (MALAVOLTA, 2006).

Figura 4. Teores foliares de nitrogênio (A), fósforo (B), potássio (C), cálcio (D), magnésio (E) e enxofre (F) na cana-planta em função da aplicação de doses de silicato, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ns: não significativo; *: significativo ao nível de 5% de probabilidade; **: significativo ao nível de 1% de probabilidade.



Fonte: Autor, 2012.

O teor de potássio na folha foi influenciado pelo silicato de cálcio e magnésio, com ajuste quadrático (Figura 4C), enquanto que o gesso não teve efeito sobre o teor foliar de potássio. Com relação ao efeito do silicato de cálcio, foi observado aumento nos teores foliares de potássio com o aumento das doses de silicato. O teor foliar de potássio nas plantas controle foi 14,56 g kg⁻¹ e quando se aplicou a primeira dose de silicato o teor foi elevado para 15,50 g kg⁻¹, chegando ao valor de 16,12 g kg⁻¹ na última dose de silicato aplicada.

O potássio é um elemento que está intimamente ligado ao transporte de fotoassimilados pelas membranas do tubo crivado, mantendo o pH alto, favorecendo o transporte de sacarose. O transporte de solutos é importante em todos os estádios de desenvolvimento da cultura. (PRADO, 2009).

Rodrigues (1995) verificou que a deficiência de potássio na cana-de-açúcar provoca o aumento da respiração foliar e conversão de açúcares intermediários à sacarose, além da restrição no transporte de açúcares.

A aplicação das doses de silício proporcionou incrementos no teor foliar de magnésio, com ajuste quadrático (Figura 4E). Como nos demais nutrientes estudados, o gesso agrícola também não influenciou o teor foliar de magnésio.

O teor de foliar de magnésio nas plantas controle foi $1,85 \text{ g kg}^{-1}$, reduzindo para $1,43$ e $1,63 \text{ g kg}^{-1}$ para as doses de 1 e 2 Mg ha^{-1} de silicato respectivamente. Foi observado aumento nos teores foliares de magnésio a partir da dose de 3 Mg ha^{-1} de silicato, com um valor de $2,12 \text{ g kg}^{-1}$, chegando a $2,67 \text{ g kg}^{-1}$ com a aplicação da última dose de silicato (Figura 4E).

Além do nitrogênio, o enxofre também é um composto exigido para a formação de aminoácidos, de proteínas e para a fotossíntese, ou seja, a deficiência deste elemento inibe rapidamente o crescimento da planta. Apesar de ser sabido da importância do gesso agrícola no fornecimento de enxofre para as plantas, o uso deste insumo isolado ou em associação com o silicato de cálcio e magnésio, não influenciou o teor de enxofre na folha de cana-de-açúcar (Figura 4F), impossibilitando o ajuste de modelos de regressão.

Saldanha (2005), estudando doses de gesso agrícola que variaram de $1,1$ a $6,9 \text{ Mg ha}^{-1}$, relatou que o mesmo provocou aumento nos teores foliares de cálcio, fósforo e enxofre com o crescimento das doses.

Rocha (2007) verificou que a aplicação de doses de gesso que variaram de $1,1$ a $6,9 \text{ Mg ha}^{-1}$, não afetou os níveis foliares de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre em cana-de-açúcar aos 150 DAP enquanto que aos 480 DAP, o gesso aumentou os níveis de enxofre, cálcio e potássio na folha.

Os resultados encontrados para cálcio e fósforo, não estão de acordo com os encontrados por Prado et al, (2003), onde os autores trabalhando com uso de silício proveniente de escória siderúrgica, verificaram incremento nos teores de cálcio e fósforo em folhas de cana-de-açúcar.

Sobral et al. (2011) verificaram que a aplicação de doses de escória de siderúrgica (0 ; $0,5$; $1,0$; $2,0$ e $4,0 \text{ Mg ha}^{-1}$), não afetou os teores foliares de cálcio, magnésio, fósforo, ferro, manganês e cobre em relação a variedade de cana-de-açúcar RB92579.

Silva e Bohnen (2001) estudando o rendimento e acúmulo de nutrientes pelo arroz em solução nutritiva com e sem a adição de silício concluíram que não houve efeito do silício sobre os teores de cálcio, fósforo, nitrogênio e enxofre em folhas de arroz, corroborando com os resultados apresentados neste trabalho.

O silicato de cálcio e magnésio e o gesso agrícola, não afetaram os níveis de silício em folha (Figura 5A). Apesar de não ter ocorrido diferença para os teores de silício em função de doses crescentes de silicato, é importante ressaltar que os níveis de silício em folha encontrados no presente estudo, ficaram acima de 10 g kg^{-1} , que é o nível crítico de silício na matéria seca da folha para a cultura de cana-de-açúcar (ANDERSON et al., 1991). Os resultados estão de acordo com Sobral et al. (2011), que não verificaram incrementos nos teores de silício na massa seca de folha de cana-de-açúcar em função das doses de silício, cujo a dose máxima foi de 4 Mg ha^{-1} .

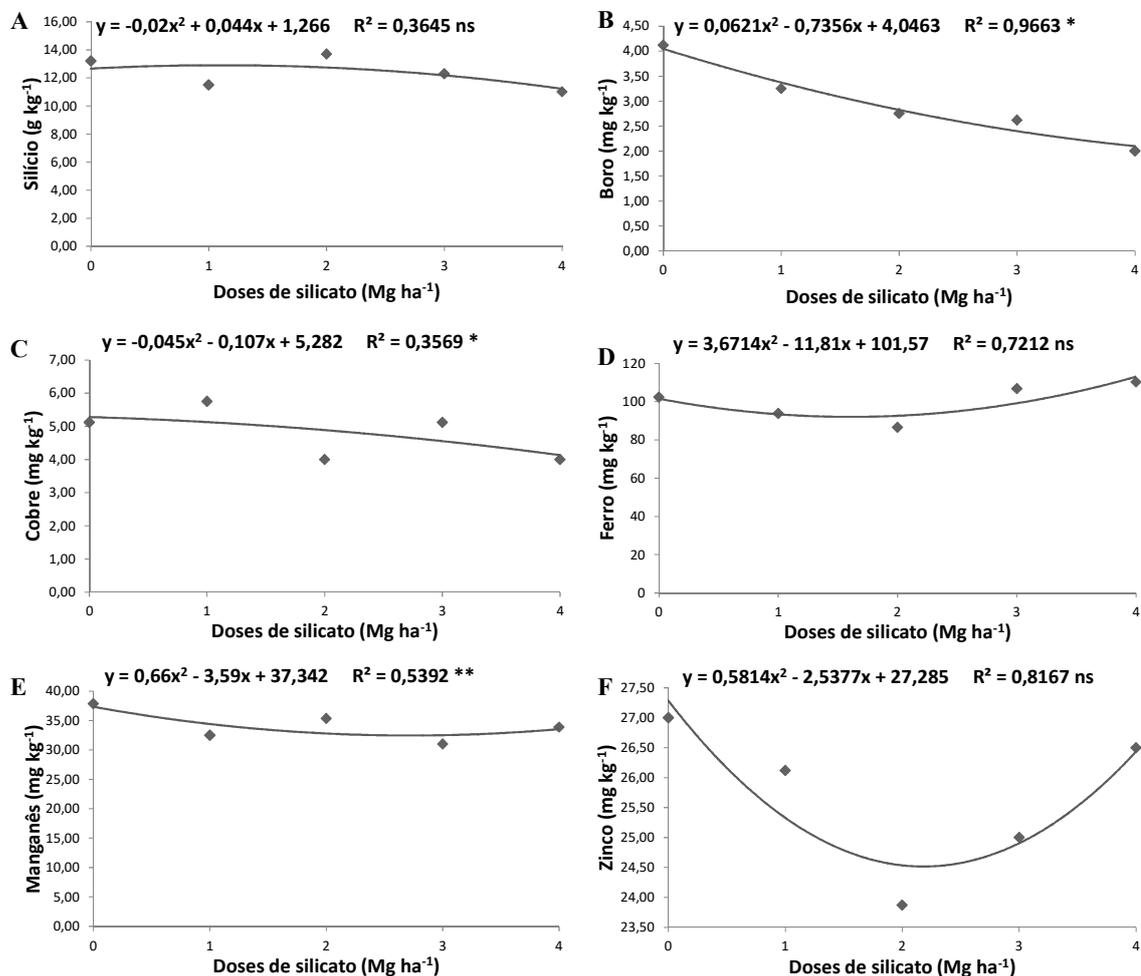
Os resultados observados neste trabalho não corroboram com alguns resultados relatados na literatura como Sousa et al. (2010), que estudando o aproveitamento do silício proveniente da aplicação de quatro doses de escória siderúrgica (0, 100, 200 e 400 kg ha^{-1}) pela cana-de-açúcar observaram o aumento do teor foliar de silício; Silva e Bohnen (2001), observaram o acúmulo de silício na matéria seca de arroz cultivados em solução nutritiva com e sem a adição de silício; Freitas et al. (2011) verificaram diferenças nos teores de silício nas folhas do milho em função da aplicação foliar de quatro doses de silício (130, 260, 390 e 520 g ha^{-1}).

Os teores de boro, cobre e manganês na folha foram influenciados pelo silicato de cálcio e magnésio, permitindo o ajuste dos dados referentes aos teores foliares destes elementos em modelo de regressão do tipo quadrática (Figuras 5B, 5C e 5E). O gesso agrícola não afetou as concentrações foliares de boro, cobre e manganês.

O aumento das doses de silicato provocou um decréscimo no teor foliar de boro de $4,12 \text{ mg kg}^{-1}$ observada no tratamento controle (0 Mg ha^{-1} de silicato) para $2,00 \text{ mg kg}^{-1}$ com a aplicação da dose máxima. A hipótese provável é que pode existir uma relação de antagonismo entre o silício e o boro (Figura 5B).

Silva e Bohnen (2001) estudando o rendimento e acúmulo de nutrientes pelo arroz em solução nutritiva com e sem a adição de silício, observaram que a adição de silício na solução nutritiva provocou um decréscimo significativo no teor de boro na casca de arroz.

Figura 5. Teores foliares de silício (A), boro (B), cobre (C), ferro (D), manganês (E) e zinco (F) na cana-planta em função da aplicação de doses de silicato, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ns: não significativo; *: significativo ao nível de 5% de probabilidade; **: significativo ao nível de 1% de probabilidade.



Fonte: Autor, 2012.

Sousa et al., (2010) estudando o aproveitamento de silício proveniente de escória siderúrgica por cultivares de cana-de-açúcar, observaram que com o aumento das doses de silício, a variedade RB867515 apresentou uma incidência maior de sintomas de deficiência de boro se comparada com a variedade SP81-3250.

O teor foliar de cobre foi afetado pelo silicato de cálcio e magnésio. O teor foliar de cobre nas folhas de cana-de-açúcar apresentou aumento inicial de 5,75 mg kg⁻¹ com a aplicação de 1 Mg ha⁻¹ de silicato, porém, com a continuidade no aumento das doses ocorreu um decréscimo no teor desse elemento no tecido foliar (Figura 5C).

Assim como o boro, o aumento das doses de silicato provocou um decréscimo no teor foliar de manganês de 37,87 mg kg⁻¹ observada no tratamento controle (0 Mg ha⁻¹ de silicato) para 33,87 mg kg⁻¹ com a aplicação da dose máxima (Figura 5E). Os resultados observados para o teor de manganês, não estão de acordo com os encontrados por Madeiros et al., (2009) onde os autores relatam que a aplicação de escória siderúrgica no solo provocou um aumento na concentração foliar de manganês.

Não foi possível observar efeitos do silicato de cálcio e magnésio e do gesso agrícola sobre o teor de ferro na folha da cana-de-açúcar (Figura 5D).

Madeiros et al., (2009) estudando o acúmulo de micronutrientes e silício nas folhas da cana-de-açúcar, obtiveram decréscimo nos teores de cobre e ferro nas folhas de cana-planta, a cada tonelada de escória aplicado no solo.

O silicato de cálcio e magnésio e o gesso agrícola não afetaram o teor foliar de zinco em cana-de-açúcar (Figura 5F). Madeiros et al. (2009) verificaram que a aplicação de cinco doses de escória de siderurgia não afetou o teor foliar de zinco em cana-de-açúcar.

4.3 Produção agrícola e variáveis agroindustriais

O rendimento de colmo (TCH), rendimento de POL (TPH), sólidos solúveis totais (BRIX), açúcares polarizáveis da cana (PC), açúcares polarizáveis (POL), Pureza, açúcares totais recuperáveis (ATR) e Fibra, não foram afetados pelo silicato e gesso agrícola.

O rendimento de colmos (t ha⁻¹) em função do silício e do gesso agrícola apresentaram maiores rendimentos de colmo se comparado com o uso isolado das doses de silício, embora não significativo (Tabela 6). Vitti et al. (1999) avaliando diferentes fontes e doses de silício na cultura da cana-de-açúcar, em relação à produtividade de colmos e rendimento POL obteve resultados semelhantes. Os resultados obtidos também corroboram com Rocha (2007), que estudando cinco doses de gesso agrícola que variaram de 1,11 a 6,93 Mg ha⁻¹, não observou efeitos para rendimento de colmo em função da aplicação de gesso.

Os resultados observados para rendimento de POL (t ha⁻¹) (Tabela 6) mostraram-se semelhantes aos encontrados por Rocha (2007) que não observou efeitos significativos para o rendimento de POL em função da aplicação das doses de gesso agrícola. Medina & Brinholi (1998) estudando o efeito de doses de gesso (0,4; 0,6; 0,8; 1,2; 2,4 Mg ha⁻¹) e de calcário nas produções de cana-de-açúcar, observaram diferença significativa entre os tratamentos, discordando dos resultados do presente estudo.

Tabela 6. Rendimentos de colmo e POL de cana-de-açúcar em função de doses de silicato aplicadas isoladamente ou associadas ao gesso agrícola, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey; CV(%)₁: coeficiente de variação referente às parcelas; CV(%)₂: coeficiente de variação referente às subparcelas.

Doses de silício (Mg ha ⁻¹)	TCH			TPH		
	(t ha ⁻¹)					
	Sem gesso	Com gesso	Média	Sem gesso	Com gesso	Média
0	119,60	123,80	121,70	17,38	17,17	17,27
1	114,20	120,80	117,50	16,29	17,27	16,78
2	115,80	119,60	117,70	16,29	16,90	16,59
3	125,00	117,50	121,25	18,68	16,70	17,69
4	124,20	125,80	125,00	17,96	17,61	17,78
Média	119,76	121,50		17,32	17,13	
	ns			ns		
CV ₁ (%)	8,74			9,13		
CV ₂ (%)	7,72			8,61		

Fonte: Autor, 2012.

A dose máxima de silício aplicada isoladamente e o controle apresentaram teores de fibra de 13,43 e 13,65% respectivamente (Tabela 7), enquanto que a dose máxima de silício associada ao gesso agrícola e o controle apresentaram teores de 13,57 e 13,66% respectivamente, embora não significativo. Por outro lado, Leite et al., (2008) estudando os efeitos de fontes e doses de silicato de cálcio (0, 150, 300 e 450 kg ha⁻¹) em cana-de-açúcar, verificaram que a os tratamentos que receberam aplicação de silicato de cálcio apresentaram percentagens de fibra superiores ao controle, os tratamentos que receberam silicato apresentaram valor para fibra (%) de 11,70 % contra 11,00 % do controle.

O silicato de cálcio e magnésio e o gesso agrícola não afetaram as variáveis PC, POL, BRIX e ATR (Tabela 7). Leite et al., (2008) avaliando os efeitos da aplicação de diferentes fontes e doses de silicato de cálcio na cultura da cana-de-açúcar, não verificaram efeitos das doses de silício para estas variáveis. Fonseca (2011), não encontrou efeitos significativos para os indicadores tecnológicos (PC, POL, BRIX e ATR) nos colmos de cana-planta em função da aplicação de escória de siderurgia.

Tabela 7. Características químico-tecnológicas de cana-de-açúcar em função de doses de silicato aplicadas isoladamente ou associadas ao gesso agrícola, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey; CV(%)₁: coeficiente de variação referente às parcelas; CV(%)₂: coeficiente de variação referente às subparcelas; SG: sem gesso; CG: com gesso.

Doses de silicato (Mg ha ⁻¹)	PC			FIBRA			POL		
	SG	CG	Média	SG	CG	Média	SG	CG	Média
0	14,51	13,86	14,18	13,65	13,66	13,65	17,63	16,87	17,25
1	14,26	14,30	14,28	13,53	12,84	13,18	17,30	17,14	17,22
2	14,05	14,14	14,09	13,71	13,87	13,79	17,10	17,26	17,18
3	14,97	14,21	14,59	13,11	13,86	13,48	18,03	17,34	17,68
4	14,45	14,00	14,22	13,43	13,57	13,50	17,51	17,00	17,25
Média	14,45	14,10		13,46	13,56		17,51	17,12	
	ns			ns			ns		
CV(%) ₁	4,95			8,32			4,53		
CV(%) ₂	4,13			4,57			3,29		
Doses de silicato (Mg ha ⁻¹)	PUREZA			BRIX			ATR		
	SG	CG	Média	SG	CG	Média	SG	CG	Média
0	85,27	84,88	85,07	20,68	19,88	20,28	142,52	136,54	139,53
1	85,13	85,27	85,20	20,33	20,10	21,21	140,26	140,66	140,46
2	85,20	84,69	84,94	20,08	20,38	20,23	138,26	139,14	138,70
3	86,36	85,63	85,99	20,88	20,25	20,56	146,70	139,59	143,14
4	85,82	85,10	85,46	20,40	19,98	20,19	141,93	137,85	139,89
Média	85,56	85,11		20,47	21,19		141,93	138,76	
	ns			ns			ns		
CV(%) ₁	1,51			4,56			3,86		
CV(%) ₂	1,31			3,35			3,61		

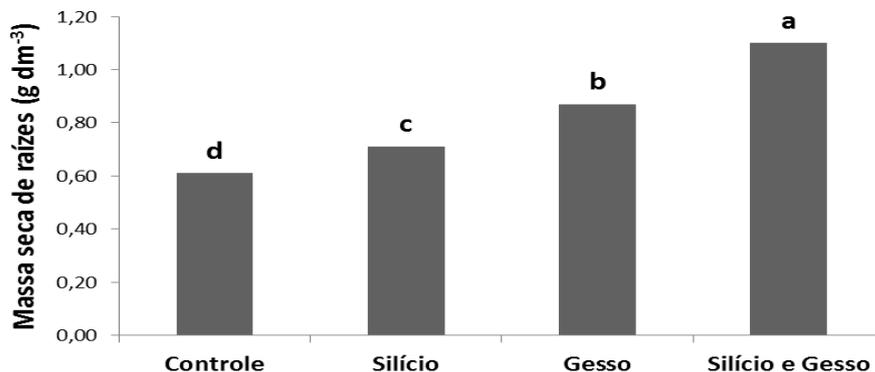
Fonte: Autor, 2012.

4.4 Massa seca de raiz

A massa seca de raízes foi afetada pela aplicação de gesso e silício, havendo interação entre os dois fatores (Figura 6). A aplicação de silício, gesso e silício + gesso causou um aumento de massa de raiz de 16, 42 e 80% respectivamente, em relação ao tratamento controle (Figura 6).

O silício é considerado um corretivo e a sua aplicação reduz a acidez do solo, o que acaba provocando uma redução na toxidez provocada pelo excesso de ferro, manganês e alumínio. Já o gesso agrícola tem um maior efeito no fornecimento e aumento dos teores de cálcio em subsuperfície, o que acarreta uma diminuição do efeito tóxico do alumínio sobre as raízes das plantas. Provavelmente, esses fatores devem ter contribuído para o tratamento silício + gesso apresentar uma maior massa seca de raiz.

Figura 6. Massa seca de raiz por volume de solo em função dos tratamentos aplicados, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. Médias sobrescritas por letras distintas diferem ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste Tukey.



Fonte: Autor, 2012.

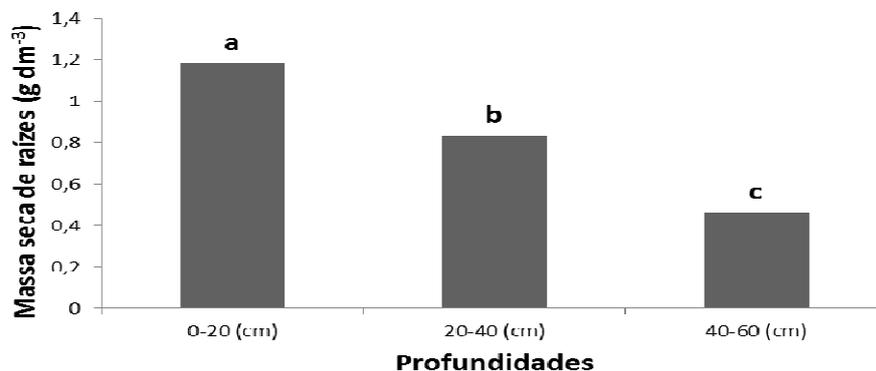
Vários trabalhos tem demonstrado a importância do cálcio para o desenvolvimento radicular. Segundo Quaggio (2000), quando a saturação por cálcio no complexo de troca no solo encontra-se em concentrações inferiores a 20%, ocorre forte restrição ao crescimento radicular no solo, para a maioria das espécies cultivadas e como a absorção de cálcio ocorre nas partes mais novas da raiz, é necessário que ocorra uma distribuição adequada do nutriente no solo para que a absorção seja contínua.

Rocha (2007) ao avaliar o desenvolvimento do sistema radicular da variedade de cana-de-açúcar SP78-4764 em função dos tratamentos controle, calcário, gesso e calcário + gesso, observou que os tratamentos gesso e calcário + gesso apresentaram uma maior percentagem de raízes em relação aos tratamentos controle e calcário, corroborando com resultados encontrados no presente estudo.

Os resultados apresentados nesse trabalho juntamente com os resultados encontrados por Rocha (2007) reforçam a importância do gesso como alternativa para a redução da acidez trocável no subsolo, por sua maior mobilidade no perfil, atingindo profundidades além da camada arável.

A massa de raiz variou conforme a profundidade (Figura 7). A profundidade 0-20 cm apresentou uma maior massa de raiz (1,18 g dm⁻³ de solo), resultando em maior proporção de raízes na superfície (Figura 7), seguida pela profundidade 20-40 cm com uma massa de raiz em torno de 0,83 g dm⁻³ e por fim, a profundidade 40-60 cm com uma massa de raiz de 0,46 g dm⁻³.

Figura 7. Massa seca de raiz por volume de solo em função das profundidades estudadas, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. Médias sobrescritas por letras distintas diferem ao nível de 1% de probabilidade pelo Teste Tukey.

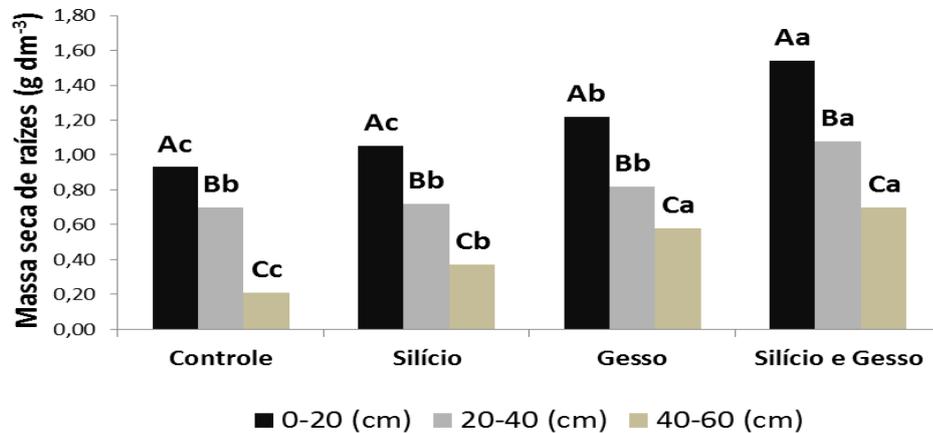


Fonte: Autor, 2012.

A interação entre os tratamentos e as profundidades influenciou a massa seca de raiz. Na faixa de 0-20 cm de profundidade, a aplicação de silício, gesso e silício + gesso causou um aumento de 13, 31 e 65% de massa de raiz em relação ao controle. Na faixa de 20-40 cm de profundidade, a aplicação de silício, gesso e silício + gesso causou um aumento de 2, 17 e 54% de massa de raiz em relação ao controle. Na profundidade de 40-60 cm, a aplicação de silício, gesso e silício + gesso acarretou um aumento de 76, 176 e 333% de massa de raiz em relação ao controle (Figura 8).

O maior incremento de massa de raiz em função do silício + gesso em todas as profundidades ressalta a importância do silício associado ao gesso agrícola para o desenvolvimento radicular, proporcionando para as plantas de cana-de-açúcar uma maior exploração do ambiente edáfico e, conseqüentemente, um melhor aproveitamento do uso da água e de nutrientes, haja vista, que o silicato no solo atua como corretivo de acidez além de fornecer cálcio e magnésio em superfície (ALCARDE, 1992). Enquanto que o gesso agrícola, devido à sua maior solubilidade e mobilidade no solo, permite que a cultura desenvolva melhor o sistema radicular, e explore um maior volume de solo (RAIJ, 1988). Sousa et al. (1996) avaliando o uso do gesso agrícola, verificaram a importância do gesso como melhorador do ambiente radicular em profundidade para culturas anuais, entre elas o milho. Segundo Caíres et, al. (2001) a aplicação de gesso contribuiu para a melhoria da distribuição de raízes de cevada em profundidade.

Figura 8. Massa seca de raiz por volume de solo em função da interação entre os tratamentos e as profundidades, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. Médias sobrescritas por letras iguais, tanto para os tratamentos dentro das profundidades (letras minúsculas), com para as profundidades dentro dos tratamentos (letras maiúsculas), não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey.



Fonte: Autor, 2012.

4.5 Potencial hídrico (ψ_w) e Potencial de solutos (ψ_s)

O silicato de cálcio e magnésio não afetou o potencial hídrico antemanhã (4h) e meio-dia (12h). Corroborando com os resultados encontrados no presente estudo para o teor foliar de silício discutido anteriormente, onde foi observado que as doses crescentes de silicato não proporcionaram incrementos para os teores do mesmo em folha.

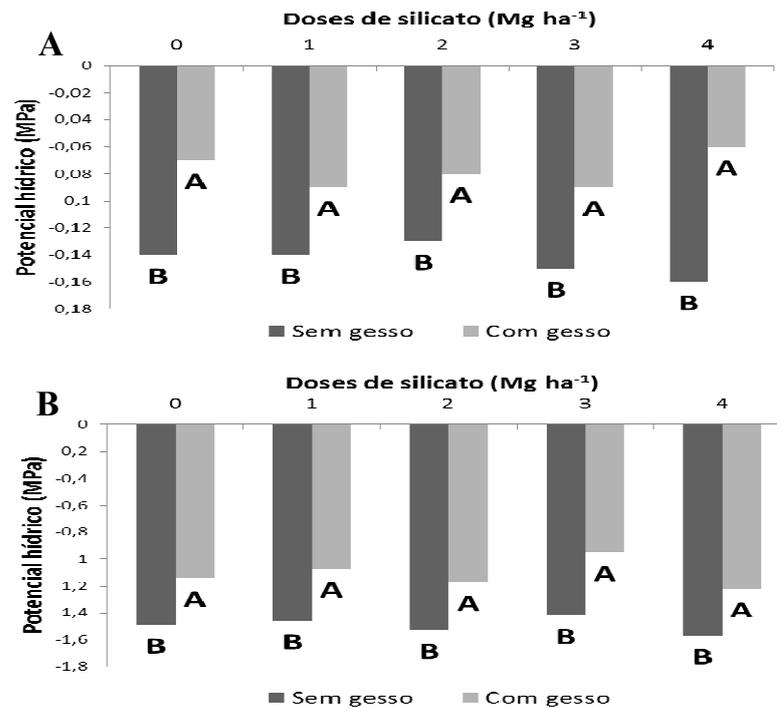
O acúmulo de silício nos órgãos de transpiração causa uma diminuição na perda de água, por diminuir a condutância estomática (OLIVEIRA & CASTRO, 2002). Segundo Deng et al, 2003, a fotossíntese e o potencial hídrico foliar são processos fisiológicos sensíveis às variações ambientais para a maioria das plantas. Pelo fato de as avaliações de potencial hídrico terem sido realizadas no período de elevado déficit hídrico, as plantas ficaram expostas às variações dos fatores ambientais, durante o dia. Provavelmente, esses fatores, podem ter influenciado os baixos potenciais hídricos apresentados pela variedade em estudo. As medidas de potencial hídrico foliar obtidas na antemanhã e ao meio-dia chegaram a valores em torno de -0,16 e -1,57 MPa respectivamente.

Gonçalves et al. (2010) e Silva (2010), trabalhando com variedades de cana-de-açúcar em casa de vegetação sem a utilização de doses de silício, constataram valores de potencial hídrico antemanhã sob estresse severo em torno -0,19 MPa e -0,24 MPa respectivamente, ficando esses valores abaixo dos encontrados nesse trabalho para o mesmo horário.

O gesso proporcionou um aumento no potencial hídrico foliar no período antemanhã (4h) e ao meio-dia (12h) (Figuras 9A e 9B).

De acordo com Pereira (2009), as principais funções do gesso são: levar cálcio para camadas mais profundas do solo e neutralizar a toxidez do alumínio em subsuperfície, favorecendo desta forma um maior crescimento radicular principalmente em profundidade, proporcionando uma maior resistência das plantas ao estresse hídrico. Estes fatos, provavelmente, ajudaram as plantas a terem uma melhor absorção de água em profundidade, proporcionando um maior potencial hídrico foliar nas plantas tratadas com gesso agrícola em relação às plantas cultivadas na ausência de gesso.

Figura 9. Potencial hídrico foliar antemanhã-4h (A) e ao meio-dia-12h (B) da variedade RB92579 em função de doses de silicato isoladas e associadas ao gesso agrícola, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. Médias sobrescritas por letras distintas para gesso em cada dose de silicato diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey.



Fonte: Autor, 2012.

O menor valor de potencial hídrico antemanhã (4h) nas plantas cultivadas na ausência de gesso, foi de -0,16 MPa, observado nas parcelas de 3 Mg ha⁻¹ de silicato, enquanto que o menor valor de potencial para as plantas cultivadas na presença do gesso foi -0,09 MPa, observado nas parcelas de 1 e 3 Mg ha⁻¹ de silicato (Figura 9A). O menor valor de potencial hídrico meio-dia (12h) nas plantas cultivadas na ausência de gesso, foi de -1,57 MPa,

observado nas parcelas de 4 Mg ha⁻¹ de silicato, enquanto que o menor valor de potencial hídrico nas plantas tratadas com gesso agrícola foi -1,22 MPa, verificado nas parcelas de 4 Mg ha⁻¹ de silicato (Figura 9B).

Os maiores valores de potencial hídrico observados para as plantas tratadas com gesso podem estar relacionados com a maior massa de raiz pela aplicação de silício + gesso. A associação de silício + gesso e o uso isolado de gesso foram os tratamentos que apresentaram as maiores médias de massa de raiz nas três profundidades estudadas (0-20; 20-40; 40-60 cm). Possivelmente esse fato contribuiu para que as plantas cultivadas na presença do gesso apresentassem os maiores valores de potencial hídrico, devido a uma maior exploração do ambiente edáfico e, conseqüentemente, um melhor aproveitamento do uso da água.

O silicato de cálcio e magnésio e o gesso agrícola não influenciaram os valores de potencial de solutos simplástico na antemanhã (4h) e ao meio-dia (12h) (Tabela 8).

Comparando os valores de potencial de solutos obtidos na antemanhã com os obtidos ao meio-dia, observa-se que houve pouca variação entre os dois horários. Para o potencial de solutos antemanhã, as doses de silício de 0 e 4 Mg ha⁻¹ sem aplicação de gesso apresentaram valores de -0,74 e -0,80 MPa respectivamente, enquanto que o potencial de solutos meio-dia, para as mesmas doses de silício sem aplicação de gesso apresentaram valores de -0,86 e -0,74 MPa respectivamente (Tabela 8). Comparando os dois horários (antemanhã e meio-dia) e tomando como efeito comparativo as mesmas doses de silicato (0 e 4 Mg ha⁻¹) com aplicação de gesso, observa-se que o potencial de solutos antemanhã apresentou valores de -0,84 MPa para ambas as doses, enquanto que o potencial de solutos meio-dia apresentou valores de -0,81 e -0,92 MPa para as doses 0 e 4 Mg ha⁻¹ respectivamente (Tabela 8).

Tabela 8. Potencial osmótico foliar antemanhã-4h e ao meio-dia-12h da variedade RB92579 em função de doses de silicato associadas com gesso e sem gesso, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey; CV(%)₁: coeficiente de variação referente às parcelas; CV(%)₂: coeficiente de variação referente às subparcelas.

Doses de silício (Mg ha ⁻¹)	Potencial osmótico (MPa)					
	Antemanhã (4h)			Meio-dia (12h)		
	Sem gesso	Com gesso	Média	Sem gesso	Com gesso	Média
0	-0.74	-0.84	-0,79	-0.86	-0.81	-0,83
1	-0.80	-0.75	-0,77	-0.78	-0.68	-0,73
2	-0.77	-0.74	-0,75	-0.61	-0.82	-0,71
3	-0.82	-0.80	-0,81	-0.75	-0.87	-0,81
4	-0.80	-0.84	-0,82	-0.74	-0.92	-0,83
Média	-0,78	-0,79		-0,75	-0,82	
	ns			ns		
CV ₁ (%)	17.92			20.43		
CV ₂ (%)	11.79			16.72		

Fonte: Autor, 2012.

4.6 Índice SPAD

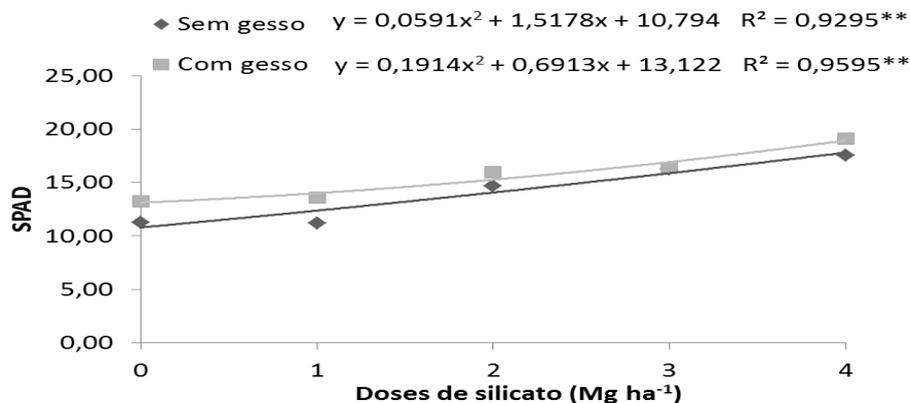
O silicato de cálcio e magnésio teve efeito sobre os valores de índice SPAD, com ajuste quadrático. Pelo ajuste dos dados tanto para o uso isolado das doses de silicato quanto para o uso das doses de silicato associadas ao gesso agrícola, observou-se que a concentração foliar de pigmentos fotossintéticos em cana-de-açúcar, aumentou com o aumento das doses (Figura 10).

Os resultados encontrados corroboram com os encontrados por Savant et al. (1999) que estudando o efeito de doses de silicato na nutrição e produtividade da cana-de-açúcar, verificaram que a aplicação de 15 Mg ha⁻¹ de silicato promoveu o incremento no índice de clorofila em 78 e 65 %, em cana-planta e cana-soca, respectivamente.

Freitas et al. (2011), avaliando o efeito da adubação foliar com silício na cultura do milho, observou que índice de clorofila não foi alterado em função da aplicação de diferentes doses de silicato nem de diferentes épocas de aplicação. Deren (2001) concluiu que a aplicação de silício confere maior índice de clorofila às folhas.

A dose de 4 Mg ha⁻¹ de silicato sem aplicação de gesso, proporcionou valores de índice SPAD em cana-de-açúcar em torno de 17,52, semelhantes à dose de 3 Mg ha⁻¹ (índice SPAD de 16,25), porém, diferiu significativamente das demais doses de silicato na ausência de gesso. Para as doses de silicato associadas ao gesso agrícola, a dose de 4 Mg ha⁻¹ de silicato, apresentou valor SPAD em torno de 19,09, diferindo das demais doses quanto aos valores de índice SPAD em cana-de-açúcar. As plantas submetidas às doses de 0 e 1 Mg ha⁻¹ de silicato associadas ou não ao gesso agrícola, apresentaram os menores valores de índice SPAD.

Figura 10. Valor SPAD na cana-de-açúcar, em função da aplicação de doses de silicato isoladas e associadas ao gesso agrícola, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. **: significativo ao nível de 1% de probabilidade.



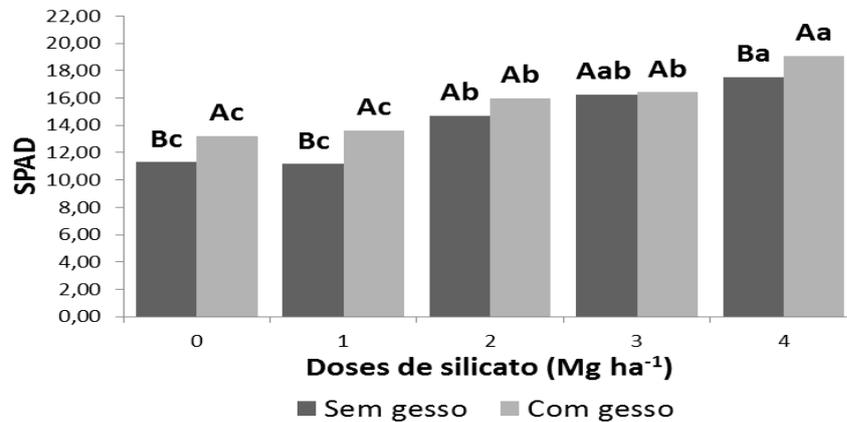
Fonte: Autor, 2012.

Apesar de ter ocorrido o incremento nos valores de índice SPAD com o aumento das doses de silicato, os valores dos mesmos ficaram abaixo dos encontrados por Silva (2010), Gonçalves (2008) e Freitas et al. (2011), provavelmente devido às condições climáticas adversas de alta temperatura e baixa pluviosidade (Figura 1), observadas no local da área experimental por ocasião das análises. Segundo Long et al. (1990), a degradação de clorofila é uma das consequências do estresse hídrico, resultante da fotoinibição e do foto-branqueamento, que pode causar redução no índice SPAD, que por sua vez serve como uma medida rápida usada como ferramenta indicativa da seca.

O gesso agrícola influenciou os valores de índice SPAD. A associação do gesso agrícola com as doses de silicato: 0, 1 e 4 Mg ha⁻¹, proporcionou valores de índice SPAD superiores em relação às plantas de cana-de-açúcar submetidas as mesmas doses de silicato na ausência de gesso agrícola (Figura 11).

Gelain et al. (2011), estudando a fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola, observaram que para o índice SPAD, o maior teor de clorofila foi alcançado com a dose de 41 g ha⁻¹ de molibidênio, sem a utilização de gesso, e o menor teor de clorofila foi alcançado sem a utilização de molibidênio e com a maior dose de gesso (3 Mg ha⁻¹).

Figura 11. Médias de índice SPAD da variedade RB92579 em função de silicato e gesso agrícola, Usina Capricho, Cajueiro, AL, 2011. Médias sobrescritas por letras iguais, tanto para as doses de silicato dentro de gesso (letras minúsculas), com para gesso dentro de doses de silicato (letras maiúsculas), não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey.



Fonte: Autor, 2012.

Silveira (2009), utilizando doses de nitrogênio e enxofre na forma de nitrato de amônio e gesso respectivamente, para recuperação de pastagem com capim-braquiária, observou que nos dois anos que ocorreu avaliação da pastagem, os valores SPAD aumentaram com as doses de nitrato de amônio e gesso.

Rodrigues (2002), estudando a influência do calcário, do nitrogênio e do enxofre na forma de gesso na recuperação do capim-braquiária cultivado em solo proveniente de uma pastagem degradada, verificou que os resultados das leituras de clorofila obtidos através do clorofilômetro SPAD, revelaram efeitos significativos para as doses de nitrogênio e enxofre.

4.7 Atividade da ascorbato peroxidase (APX)

O silicato de cálcio e magnésio e o gesso agrícola não influenciaram a atividade da ascorbato peroxidase (Tabela 9). Apesar de não terem ocorrido diferenças significativas, vale ressaltar que para as doses de silicato de 4 Mg ha⁻¹ foi observada a menor atividade da ascorbato peroxidase. Enquanto que as doses de 1 e 2 Mg ha⁻¹ apresentaram as maiores atividades com relação à ascorbato peroxidase.

Ferreira (2008), estudando o efeito do silício sobre os aspectos bioquímicos, qualidade da fibra e produtividade da cultura do algodoeiro, verificou que a aplicação das doses de

silício não influenciou a atividade da ascorbato peroxidase. Já Ferreira (2009), estudando o efeito do silício (0 e 3 g kg⁻¹ de solo) em duas épocas de coleta (7 e 14 dias) no controle da mancha-aquosa em meloeiro, observou que para a enzima ascorbato peroxidase (APX), detectou-se diferença entre as doses de silício aos 14 dias, sendo que na dose 0,0 g kg⁻¹ a atividade enzimática foi mais intensa.

A aplicação do gesso agrícola apresenta-se como uma boa alternativa para reduzir o estresse oxidativo, haja vista, que ao movimentar-se no perfil do solo e acumular-se nas camadas mais profundas, o gesso agrícola neutraliza os efeitos nocivos do Al³⁺ pela formação de AlSO₄⁺. O alumínio compromete o desenvolvimento do sistema radicular e contribui para a indução do estresse oxidativo causando danos às proteínas, DNA e lipídios, devido a produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) como o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (TAMÁS et al., 2004).

Tabela 9. Atividade enzimática da ascorbato peroxidase (APX) foliar na variedade de cana-de-açúcar RB92579 em relação à aplicação de doses de silicato de cálcio e magnésio, isoladas ou combinadas com o gesso agrícola. ns: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey; CV(%)₁: coeficiente de variação referente às parcelas; CV(%)₂: coeficiente de variação referente às subparcelas.

Doses de silicato (Mg ha ⁻¹)	Ascorbato peroxidase (μmol ascorbato min ⁻¹ mg ⁻¹ proteína)		
	Sem gesso	Com gesso	Média
0	1,07	1,01	1,04
1	1,19	1,00	1,09
2	1,18	1,20	1,19
3	1,09	1,08	1,08
4	0,82	0,98	0,90
Média	1,07	1,05	
		ns	
CV ₁ (%)		17,75	
CV ₂ (%)		17,61	

Fonte: Autor, 2012.

5 CONCLUSÕES

O crescimento e a produtividade da cana-de-açúcar não foram afetados pela aplicação de silicato de cálcio e magnésio e gesso;

O silicato de cálcio e magnésio aumentou os teores foliares de potássio e magnésio e diminuiu os teores de boro, manganês e cobre em folha. Enquanto o gesso não teve efeito sobre o estado nutricional da folha;

A aplicação de gesso e silicato proporcionou uma maior alocação de biomassa para o sistema radicular principalmente nas camadas mais profundas do solo permitindo uma melhor extração de água no solo, resultando em maior potencial hídrico nas folhas;

O silicato de cálcio e magnésio e o gesso agrícola elevaram os valores de índice SPAD.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADATIA, M.H. & BESFORD, R.T. The effects of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution. **Ann. Bot.**, v. 58, p. 343-351, 1986.

AGARWAL, S.; PANDEY, V. Antioxidant enzyme responses to NaCl stress in *Cassia angustifoli*. **Biologia Plantarum**, v. 48, n. 04, p. 555-560, 2004.

ALCARDE, J. C. Corretivos da acidez dos solos: características e interpretações técnicas. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos, 1992. p.1-26. (Boletim Técnico, 6).

ALEXANDER, A. G. **Sugarcane physiology: a comprehensive study of the Saccharum source-to-sink system**. Amsterdam: Elsevier, 1973. 725 p.

ALFONSI, R. R. et al. Condições climáticas para cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargil, v. 1, p.42-55. 1987.

ALVAREZ, F. C. **El registro agrônomico de Clementes y su aplicacion em Venezuela**. Caracas: Ministério da Agricultura y Cria, 1975. 125p.

ALVAREZ V. H.; DIAS, L. E. **Enxofre**. 1.ed. Viçosa: ABEAS/Universidade Federal de Viçosa, 1994. 106p.

ANDERSON, D. L. Soil and leaf nutrient interactions following application of calcium silicate slag to sugarcane. **Fert. Res.**, v. 30, n. 1, p. 9-18, 1991.

ANDERSON, D. L.; SNYDER, G.H.; MARTIN, F.G. Multi-year response of sugarcane to calcium silicate slag on Everglade Histosols. **Agronomy Journal**, Madison, v, 83, p. 870-874, 1991.

AQUINO, A. B. et al. **Recomendações de adubação e calagem para o estado do Ceará**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1993. 248p.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; BARTOLINI, C.G.; FORSTHOFER, E.L.; STRIEDER, M.L. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e nitrogênio nas folhas de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.158-167, 2001.

ASADA, K. Ascorbate peroxidase - a hydrogen peroxide-scavenging enzyme in plants. **Physiologia Plantarum**, v.85, p.235-241, 1992.

AYRES, A.S. Calcium silicate slag as a growth stimulant for sugarcane on low-silicon soils. **Soil Sciences**, v. 101, n. 3, p. 216-227, 1966.

BADAWI, G.H., YAMAUCHI, Y., SHIMADA, E., SASAKI, R., KAWANO, N., TANAKA, K., TANAKA, K. Enhanced tolerance to salt stress and water deficit by overexpressing superoxide dismutase in tobacco (*Nicotiana tabacum*) chloroplasts. **Plant Science**, 2004.

BARKER, D. J.; ZHANG, D. M.; MACKAY, A. D. Root distribution in a low fertility hill country sward grazed by sheep. **New Zealand Journal of Experimental Agriculture**, Wellington, v. 16, p. 73-76, 1988.

BARNES, A. C. **The sugar cane**. New York: The New York Interscience Publishers INC., 1964. 456 p.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.

BERGONCI, J. I. et al. Potencial de água na folha como um indicador de déficit hídrico em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, p. 1531-1540, 2000.

BIANCHI, C. A. M. **Avaliação de indicadores da condição hídrica em milho sob diferentes níveis de água, em semeadura direta e Convencional**. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do sul, Porto Alegre, 2004.

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal Production Agriculture**, v. 8, p. 56-60, 1995.

BOHNERT, H.J.; JENSEN, R.G. Strategies for engineering water- stress tolerance in plants. **Trends in Biotechnology**, v.14, p.89-97, 1996.

BONO, J. A.; MACEDO, M. C. M.; EUCLIDES, V. B. P. Biomassa e área do sistema radicular e resistência do solo a penetração em pastagens de *Panicum maximum* Jacq. sob pastejo rotacionado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000. 1 CD-ROM.

BRADFORD, M.A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. **Analytical biochemistry**, v.72, p.248-254, 1976.

BRASIL, F. C.; STOCCO, F. C.; PESSANHA, A. L. SOUTO, R. L. ZONTA, E.; ROSSELO, R. O. P. Distribuição e variação temporal de características radiculares de *Brachiaria humidicola* em um Planossolo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa: SBZ, 2000. 1 CD-ROM.

BRAY, E. A. Plant responses to water deficit. **Trends in Plant Science**, v. 2, p. 48-54, 1997.

CAIRES, E. F. et al. Produção de milho, trigo e soja em função das alterações das características químicas do solo pela aplicação de calcário e gesso na superfície, em sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 315-327, 1999.

- CAIRES, E.F.; FELDHAUS, I.C. & BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da cevada em função da calagem e aplicação de gesso. **Bragantia**, v.60, p. 213-223, 2001.
- CAIRES, E. F. et al. Alterações químicas do solo e resposta da soja ao calcário e gesso aplicados na implantação do sistema de plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 2, p. 275-286, 2003.
- CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 157p.
- CASTRO, P. R. C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE FISIOLÓGIA DA CANA-DE-AÇÚCAR, 2000, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: STAB, 2000. p.1-9.
- CHRISTOFFOLETI, P.J. **Aspectos fisiológicos da brotação, perfilhamento e florescimento da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1986. 80p
- CLEMENTS, H. F. **Sugarcane nutrition and culture**. Lucknow: Indian Institute of Sugar Research, 1959. 189p.
- COLEMAN, R. The importance of sulfur as a plant nutrient in the world crop production. **Soil Science**, v.101, p. 230-239, 1996.
- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendações de adubação para o Estado de Pernambuco: segunda aproximação, segunda revisão**. Recife: IPA/ EMBRAPA/UFRPE/ UFPE/ EMATER, 1998. 198 p.
- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento de safra brasileira : cana-de-açúcar, primeiro levantamento, abril/2012** - Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/12_04_10_09_19_04_boletim_de_cana.pdf>. Acesso em: 16 de maio 2012.
- COSTA, C. T. S. **Crescimento, pigmentos fotossintéticos e produtividade de cana-de-açúcar (*saccharum* sp.), no quarto ciclo de cultivo**. 2009. 51f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2009.
- DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H. & JONES, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yield of rice. **Plant Dis.**, v. 75, p. 729-732, 1991.
- DENG, X., et al. A comparison of photosynthetic apparatus of the detached leaves of the resurrection plant *Boea hygrometrica* with its con-tolerant relative *Chirita hererotrichia* in response to dehydration and rehydration. **Plant Science**, v. 165, p. 851-861, 2003.
- DEREN, C. Plant genotypes, silicon concentration and silicon related responses. In: DATNOFF LE, SNYDER GH & KORNDÖRFER GH (Eds.) **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p.149-158.

DILLEWIJN, C. Van. **Botany of sugarcane**. Waltham: Chronica Botanica, 1952. 371 p.

DYNIA, J. F.; CAMARGO, O. A. Absorção e movimento de sulfato em Latossolo de cerrado submetido à calagem e adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 19, p. 249-253, 1995.

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

ELAWAD, S.H.; ALLEN JR, L.H. & GASCHO, G.J. Influence of UV-B radiation and soluble silicates on the growth and nutrient concentration of sugarcane. **Soil Crop Sci. Soc. Fla.**, v. 44, p. 134-141, 1985.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análise do solo**. Centro nacional de pesquisas de solos, 2^a ed., Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

EPSTEIN, E. **Annual Review of plants physiology and plantmolecular biology**, v. 50, p. 641-664, 1999.

EPSTEIN, E. ; BLOOM, A. **Nutrição mineral de plantas; princípios e perspectivas**. Londrina: [s.n.], 2006. 402p.

FANTE JÚNIOR, L.; REICHARDT, K.; JORGE, L.A.C.; CRESTANA, S. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: I. Comparação de metodologias. **Scientia Agricola**, v.51, p.513-518, 1994.

FARIAS, R. J. Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo. 2000. 47p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2000.

FAUCONNIER, R.; BASSEREAU, D. **La caña de azucar: técnicas agrícolas y producciones tropicales**. Barcelona: Blume, 1975. 433p.

FERREIRA, H, A. **Silício no controle da mancha-aquosa em meloeiro (*cucumis melo* L.)**. 2009. 81f. Dissertação (Mestrado em Fitopatologia) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009.

FERREIRA, M. F. **Efeito do silício na cultura do algodoeiro (*Gossypium hirsutum* L.): aspectos bioquímicos, qualidade da fibra e produtividade**. 2008. 67f. Tese (Doutorado em Ecologia Aplicada) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008.

FERNANDES, A. J. (Ed.). **Manual de cana-de-açúcar**. 2^a ed. São Paulo: Livro Ceres, 1990. 196 p.

- FONSECA, I. M. **Atributos químicos do solo, nutrição e produtividade da cana-planta em função da aplicação de nitrogênio e de escória de siderurgia**. 2011. 98f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.
- FREIRE, F. J. **Sistema para cálculo do balanço nutricional e recomendação de corretivos e fertilizantes para cana-de-açúcar**. 2001. 144f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.
- FREITAS, L. B.; COELHO, E. M.; MAIA, S. C. M.; SILVA, T. R. B. Adubação foliar com silício na cultura do milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n. 2, p. 262-267, 2011.
- GÁBORČÍK, N. Relationship between contents of chlorophyll (a+b) (SPAD Values) and nitrogen of some temperate grasses. **Photosynthetica**, v. 41, n. 2, p. 285-287, 2003.
- GALLO, J.R.; HIROCE, R.; ALVAREZ, R. Levantamento do estado nutricional de canaviais de São Paulo pela análise foliar. **Bragantia**. v.27, p. 365-382, 1968.
- GAMA, A.J.M.; KORNDÖRFER, G.H.; JULIATTI, F.C.; PEREIRA, H.S. & DALTO, G. Controle da incidência e severidade de oídio em plantas de pepino através da aplicação de fontes de silício via solo e via foliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FITOPATOLOGIA, 36., 2003 Uberlândia. **Resumos Expandidos...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2003. p.696.
- GAO, X.P., ZOU, C.Q., WANG, L.J., ZHANG, F.Z. Silicon improves water use efficiency in maize plants. **J. Plant Nutr.** v. 27, n. 8, p. 1457-1470, 2004.
- 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**, Brasília, v.36, n. 11, p. 1347-1354, 2001.
- GELAIN, E.; JUNIOR, E. J. R.; MERCANTE, F. M.; FORTES, D. G.; SOUZA, F. R.; ROSA, Y. B. C. J. Fixação biológica de nitrogênio e teores foliares de nutrientes na soja em função de doses de molibdênio e gesso agrícola. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 2, p. 259-269, 2011.
- GERMEK, H. A. **Análise de decisão sobre o aproveitamento do palhicho da cana-de-açúcar, posto na unidade industrial, para fins de co-geração**. 2005. 107f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, 2005.
- GONÇALVES, E. R. **Fotossíntese, osmorregulação e crescimento inicial de quatro variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica**. 2008. 66f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Produção Vegetal e Proteção de Plantas) - Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2008.
- GONÇALVES, E. R.; FERREIRA, V. M.; SILVA, J. V.; ENDRES, L.; BARBOSA, T. P.; DUARTE, W. G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* em variedades de cana-de-

açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.4, p. 378-386, 2010.

GUIMARAES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) a seca. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 70-75, 2006.

GUIMARÃES, T. G.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G.; ALVAREZ, V. H.; MONNERAT, P. H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. **Bragantia**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 209-216, 1999.

GUPTA, U.C. Micronutrientes e elementos tóxicos em plantas e animais. In: FERREIRA, M.E. **Micronutriente e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal: CNPq/FAPESP/POTAFOS, 2001. v.1, p. 13-41.

HART, C. E.; BURR, G. O. Factores affecting photosynthesis in sugarcane. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGARCANE TECHNOLOGISTS. 12., San Juan, 1965. **Proceedings...** Amsterdam: Elsevier, 1967. p. 593-609.

HEENAN, D. P.; CAMPBELL, L. C. Influence of potassium and manganese on growth and uptake of magnesium by soybeans (*Glycine max* (L.) Merr. cv Bragg). **Plant Soil**, v. 61, 447-456, 1981.

HERMANN, E.R. & CÂMARA G.M.S. Um método simples para estimar a área foliar de cana-de-açúcar. **Revista da STAB**, v. 17, p. 32-34, 1999.

IMLAY, J.A., LINN, S. DNA damage and oxygen radical toxicity. **Science**, v. 240, p. 1302-1309, 1988.

INMAN-BAMBER, N. G. Sugarcane water stress criteria for irrigation and drying off. **Field Crops Research**, v. 89, p. 107-122, 2004.

INMAN-BAMBER, N. G.; SMITH, D. M. Water relations in sugarcane and response to water deficits. **Field Crops Research**, v. 92, p. 185-202. 2005.

JONES, L.H.P.; HANDRECK, K.A. Studies of silica in the oat plant. III. Uptake of silica from soils by plant. **Plant Soil**, v. 23, p. 79-95, 1965.

JORGE, L.A.C.; RALISCH, R.; ABI SAAB, O.J.G; MEDINA, C.C.; GUIMARÃES, M.F.; NEVES, C.S.V.J.; CRESTANA, S.; CINTRA, F.L.D.; BASSOI, L.H.; FERNANDES, S.B.V. Aquisição de imagens de raízes. In: JORGE, L.A.C., (Ed.). **Recomendações práticas para aquisição de imagens digitais analisadas através do SIARCS**. São Carlos: EMBRAPA-CNPDIA, 1996. p. 2-28. (EMBRAPA-CNPDIA. Circular Técnica, 1).

KOFFLER, N. F.; LIMA, J.F.W.F.; LACERDA, M.F.; SANTANA, J.F.; SILVA, M.A. **Caracterização edafo-climática das regiões canavieiras do Brasil**. 1ª ed. Piracicaba: IAA-PLANALSUCAR. 1986. 78p.

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

KORNDÖRFER, G. H.; GASCHO, G. J. Avaliação de fontes de silício para o arroz. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 1. Reunião da Cultura do Arroz Irrigado, 23., 1999 Pelotas. **Anais...** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 1999. p. 313-316.

KORNDÖRFER G.H.; SNYDER, G.H.; UCHOA, G. & DATNOFF, L.E. Calibration of soil and plant silicon analysis for rice production. **J. Plant Nutr.**, v. 24, p. 1071-1084, 2001.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Papel do Silício na Produção de Cana-de-Açúcar. **STAB**, vol. 21, n. 2, 2002a.

KORNDORFER, G. H: et al. Desempenho de variedades de cana-de-açúcar cultivadas com e sem nitrogênio. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL – STAB. 8., 2002, Recife. **Anais...** Recife: [s.n.], 2002b. p. 234-238.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, São Paulo: RiMa, 2004. 531 p.

LEE, H. A. The distribution of the roots of sugar cane in the soil in the Hawaiian Islands. **Plant Physiology**, v. 1, p. 363-378, 1926.

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 e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1120-1125, 2008.

LONG SP, et al., Damage to photosynthesis during chilling and freezing and its significance to the photosynthetic productivity of field crops. In: BALTSCHIEFFSKY M (Ed.). **Current Research in Photosynthesis**, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, v. 4, p. 835–842. 1990.

LUCCHESI. A. A. Cana-de-açúcar. In: CASTRO, P. R. C.; KLUGE, R. A. (Eds.). **Ecofisiologia de culturas extrativistas: cana-de-açúcar, seringueira, coqueiro, dendzeiro e oliveira**. Piracicaba: Cosmópolis Stoller do Brasil, 2001. v. 1, p. 13-45.

LYNCH, J.; LAUCHILI, A.; EPSTEIN, E. Vegetative growth of the common bean in response to phosphorus availability. **Crop Sci.**, v. 31, p. 380-387, 1991.

MA, J. F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. **Studies in Plant Science**, Amsterdam: Elsevier, v. 8, p. 17-39, 2001.

MACH, F. M.; GREENBERG, J. T. Free radicals and oxidative stress. **Plant Cell Death Processes**, Hardbound, 2004. 392p.

MADEIROS L. B.; VIEIRA, A. O.; NETO, J. D.; BELTRÃO, N. E. M.; AQUINO, B. F. Influência da escória siderúrgica sobre a produtividade e crescimento da cana-de-açúcar irrigada. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 3, p. 192-202, 2008.

MADEIROS L. B.; VIEIRA, A. O.; AQUINO, B. F. Micronutrientes e silício nas folhas da cana-de-açúcar: escória siderúrgica aplicado no solo. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 1, p. 027-037, 2009.

MALAVOLTA, E. O gesso agrícola no ambiente e na nutrição da planta – Perguntas e Respostas. 1992, Uberaba. **Anais... Seminário Sobre o Uso do Gesso na Agricultura**, Uberaba, 1992. p. 41-66.

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

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas. Princípios e aplicações**. 2ª edição. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1997. 319 p.

MARQUARD, R.D.; TIPTON, J.L. Relationship between extractable chlorophyll and an in situ method to estimate leaf greenness. **HortScience**, v. 22, n. 6, p. 1327, 1987.

MATICHENKOV, V.V. & AMMOSOVA, Y.M. Effect of amorphous silica on soil properties of a sod-podzolic soil. **Soil Sci.**, v. 28, p. 87-99, 1996.

MATSUOKA, S.; LAVORENTI, N. A.; MENEZES, L. L.; SALIBE, A. C.; GHELLER, A. C. A.; ARIZONO, H. Novas variedades de cana-de-açúcar para a região Oeste do estado de São Paulo. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 7., 1999, Londrina. **Anais...** Piracicaba: STAB, 1999. p. 34-39.

McKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soil solutions. I. The form and concentration of dissolved silica in aqueous extracts of some soils. **Canadian Journal of Soil Science**, Ottawa, v. 43, n. 1, p. 70-82, 1963.

MCKERSIC, B. D.; LESHEM, Y. **Stress and coping in cultivated plants**. Kluwer Academic Publisher, 1994.

MEDINA, C.; BRINHOLI, O. Uso de resíduos agroindustriais nas produções de cana-de-açúcar, açúcar e álcool. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.33, n.11, p.1821-1825, 1998.

- MEDRANO, H. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: Stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**, v. 89, p. 895-905, 2002.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E. **Principles of plant nutrition**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2001, 849p.
- MEYER, J.H. & KEEPING, M.G. Past, present and future research of the role of silicon for sugarcane in southern Africa. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & KORNDÖRFER, G.H. (Eds.). **Silicon in agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. p.257-276.
- MITTLER, R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 7, n. 09, p. 405-410, 2002.
- MORAES, J. F. L. et al. Efeitos de doses de calcário e de gesso na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca-80. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 75-82, 1998.
- MORELLI, J.L.; NELLI, E.J.; DEMATTÊ, J.L.I.; DALBEN, A.E. Efeito do gesso e do calcário nas propriedades químicas de solos arenosos álicos e na produção de cana de açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 4., 1987, Olinda. **Anais...** São Paulo: editora, 1987. p. 86-93.
- MORELLI, J.L.; DALBEN, A.E.; ALMEIDA, J.O.C.; DEMATTÊ, J.L.I. Calcário e gesso na produtividade da cana de açúcar e nas características químicas de um Latossolo de textura média Álico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.16, p. 187-194, 1992.
- MYAKE, Y. & TAKAHASHI, E. Effect of silicon on the growth of solution-cultured cucumber plant. **Soil Sci. Plant Nutr.**, v. 29, p. 71-83, 1983.
- NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, v.22, p.867-880, 1981.
- NASCIMENTO, C. W. A. **Melhoria do ambiente radicular e fornecimento de nutrientes**. Recife: UFRPE/Área de Solos, 2003. 9 p. Curso de Gestão Ambiental e otimização da exploração e utilização do gesso da Região do Araripe – PE.
- OLIVEIRA, E. C. A. **Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção**. 2008. 84f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008.
- OLIVEIRA, L. A.; CASTRO, N. M. Ocorrência de Sílica nas Folhas de *Curatella americana* L. e de *Davilla elliptica* St. Hil. **Revista Horizonte Científico**, 2002.
- 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.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E. ; ZAMBON, 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: taxas de crescimento. **Scientia Agraria**, v.6, n.1-2, p.85-89, 2005.

OMETTO, J. C. **Parâmetros meteorológicos e a cultura da cana-de-açúcar**. Piracicaba: ESALQ, 1980. 19 p.

OREN, R. et al. Survey and synthesis of intra- and interspecific variation in stomatal sensitivity to vapour pressure deficit. **Plant, Cell and Environment**, v. 22, p. 1515-1526, 1999.

ORLANDO FILHO, J. **Nutrição e adubação da cana-de-açúcar no Brasil**. Piracicaba,: [s.n.], 1983. 369p.

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

PELLESCHI, S. et al. Effect of water restriction on carbohydrate metabolism and photosynthesis in mature maize leaves, **Plant, Cell and Environment**, v.20, p.493–503, 1997.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1987. 33p (Boletim técnico, n. 114).

PEREIRA, F. R. S. **Gesso de minério associado a fontes de fósforo na cultura do milho em sistema plantio direto no estado de alagoas**. 2009. 78f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura)–Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009.

PORTA, J. Methodologies for the analysis e characterization of gypsum in soils: A review. **Geoderma**, v. 87. p. 31-46, 1998.

PRADO, R. M. **Resposta da cana-de-açúcar à aplicação de escória silicatada como corretivo de acidez do solo**. 2000. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Sistemas de Produção) - Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2000.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. Jaboticabal: UNESP, 2008. p. 161-180.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.1199-1204, 2001.

PRADO, F. 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**, Viçosa, v.27, p.287-296, 2003.

PRADO, F. M. **Manual de nutrição de plantas forrageiras**. Jaboticabal, 2009. 413p.

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

RAIJ, B.V. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular no subsolo**. 1ª ed. São Paulo: ANDA – Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1988. 88p.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: POTAFÓS, 1991. 343 p.

RAMESH, P. Effect of different levels of drought during the formative phase on growth parameters and its relationship with dry matter accumulation in sugarcane. **J. Agronomy & Crop Science**, Berlim, v. 185, p. 83-89, 2000.

ROBERTSON, M. J. et al. Physiology and productivity of sugarcane with early and mid-season water deficit. **Field Crops Research**, v. 64, p. 211-227, 1999.

ROCHA, A. T. **Gesso agrícola na melhoria do ambiente radicular da cana-de-açúcar e implicações na produtividade agrícola e industrial**. 2007. 78f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2007.

RODRIGUES, A. C. G.; CADIMA ZEVALLOS, A. Efeito da intensidade de pastejo sobre o sistema radicular de pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília**, v. 26, p. 439-445, 1991.

RODRIGUES, R. C. **Calcário, nitrogênio e enxofre para recuperação do capim-braquiária cultivado em solo proveniente de uma pastagem degradada**. 2002. 141f. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

RODRIGUES, J. D. **Fisiologia da cana-de-açúcar**. Universidade Estadual Paulista-UNESP, Botucatu, 75p, 1995.

RODRIGUES, L. R.; RODRIGUES, T. J. D.; RAMOS, A. K. B.; QUADROS, D. G. Dry matter production of shoots and root density of two cultivars of *Lablab purpureus* (L.) Sweet. In: INTERNATIONAL GRASSLAND CONGRESS, 19., 2001, Águas de São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 573-574.

RODRÍGUEZ, D.; KELTJENS, W. G.; GOUDRIANN, J. Plant leaf area expansion and assimilate production in wheat (*Triticum aestivum* L.) growing under low phosphorus conditions. **Plant Soil**, v. 200, p. 227-240, 1998.

SALATA, J.C.; DEMATTÊ, J.L.I. Ação do calcário e gesso em solos de baixa fertilidade e na recuperação de soqueiras de cana de açúcar. **Stab: açúcar, álcool e subprodutos**, Piracicaba, v.14, n.1, p. 19-22, 1995.

SALDANHA, E. C. M. **Gesso agrícola em cana-de-açúcar, efeitos no solo e na planta**. 2005. 56f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2005.

SALDANHA, E. C. M.; ROCHA, A. T.; OLIVEIRA, E. C. A.; NASCIMENTO, C. W. A.; FREIRE, F. J. Uso do gesso agrícola em latossolo cultivado com cana de açúcar. **Caatinga**, Mossoró, v.20, n.1, p.36-42, 2007.

SANTOS, G. R.; KORNDÖRFER, G. H.; REIS FILHO, J. C. D. & PELÚZIO, J. M. Adubação com silício: influência sobre as principais doenças e sobre a produtividade do arroz irrigado por inundação. **Revista Ceres**, v. 50, p. 1-8, 2003.

SANTOS, V. R. **Crescimento e produção de cana-de-açúcar em diferentes fontes de**

fósforo. 2006. 88f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2006.

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

SCARDUA, R.; ROSENFELD, U. Irrigação da cana-de-açúcar In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, v. 1, p. 373-431, 1987.

SILVA, E. C.; NOGUEIRA, R. J. M. C.; NETO, A. D. A.; BRITO, J. Z.; CABRAL, E.L. Aspectos ecofisiológicos de dez espécies em uma área de caatinga no município de Cabaceiras, Paraíba, Brasil. **Iheringia, Série Botânica**, v. 59, n. 2, p. 201-205, 2004.

SILVA, L. C. **Análise de crescimento e acúmulo nutrientes de sete cultivares de cana-de-açúcar na Região de coruripe**. 2007. 127 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural de Alagoas, Rio Largo, 2007.

SILVA, L. S.; BOHNEN, H. Rendimento e acúmulo de nutrientes pelo arroz em solução nutritiva com e sem a adição de silício. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 771-777, 2001.

SILVA, P. B. **Aspectos fisiológicos de seis genótipos de cana-de-açúcar submetidos a estresse hídrico**. 2010. 89 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, 2010.

SILVEIRA, C. P. **Doses de nitrogênio e enxofre para recuperação de pastagem com capim-braquiária: atributos de parte aérea, raízes e fertilidade do solo**. 2009. 124p. Tese (Doutorado em Agronomia – Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.

SMIT, M. A.; SINGELS, A. The response of sugarcane canopy development to water stress. **Field Crops Research**, v. 98, p. 91-97, 2006.

SIMIÕES NETO, D. E.; MELO, L. J. O. T. **Lançamentos de novas variedades RB de cana-de-açúcar**. Recife: UFRPE, Imprensa Universitária, 2005. 28p.

SINCLAIR, T.R.; GILBERT, R.A.; PERDOMO, R.E.; SHINE JR., J.M.; POWELL, G.; MONTES, G. Sugarcane leaf area development under field conditions in Florida, USA. **Field Crops Research**, v. 88, p. 171-178, 2004.

SOBRAL, M. F.; NASCIMENTO, C. W. A.; CUNHA, K. P. V.; FERREIRA, H. A.; SILVA, A. J.; SILVA, F. B.V. Escória de siderurgia e seus efeitos nos teores de nutrientes e metais pesados em cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n. 8, p. 867-872, 2011.

SOCIAS, F. X.; CORREIA, M. J.; CHAVES, M.; MEDRANO, H. The role of abscisic acid and water relations in drought responses of subterranean clover. **J. Experimental Botany**, v. 48, p. 1281-1288, 1997.

SOUSA, D. M. G., RITCHEY, K. D. Correção da acidez subsuperficial: o uso de gesso no solo de cerrado. In: SIMPÓSIO AVANÇADO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO, 1., 1986, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação CARGILL, 1986. p. 91-113.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E.; REIN, T. A. **Uso do gesso agrícola nos solos dos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1996. 20 p. (Circular técnica, 32).

SOUSA, R. T. X.; KORNDÖRFER, G. H.; WANGEN, D. R. B. Aproveitamento de silício proveniente de escória siderúrgica por cultivares de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n.3, p. 669-676, 2010.

SUMNER, M. E. Amelioration of subsoil with minimum disturbance. In: JAYAWARDANE, N. S. & STEWART, B.A. (Eds.). **Subsoil management techniques**. Athens, Lewis Publishers, 1995. p. 147-185.

SWIADER, J.M.; MOORE, A. SPAD - chlorophyll response to nitrogen fertilization and evaluation of nitrogen status in dryland and irrigated pumpkins. **Journal of Plant Nutrition**, v. 25, p. 1089-1100, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. SANTARÉM, E.R. **Fisiologia vegetal**. 3ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TAMÁS, L.; SIMONOVICOVÁ, M.; HUTTOVÁ, J.; MISTRÍK, I. Aluminium stimulated hydrogen peroxide production of germinating barley seeds. **Environmental and Experimental Botany**, Oxford, v. 51, p. 281-288, 2004.

TERAMOTO, E. R. **Avaliação e aplicação de modelos de estimativa de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), baseados em parâmetros do solo e clima.** 2003. 86 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2003.

UNIÃO AGROINDÚSTRIA CANAVIEIRA DE SÃO PAULO. UNICA. Estatísticas. São Paulo: União da Agroindústria Canavieira de São Paulo, 2006. Disponível em <<http://www.portalunica.com.br/ação/cana.jsp>>. Acesso em: 05 out. 2009.

VASCONCELOS, A. C. M. O sistema radicular da cana-de-açúcar e a expressão do potencial de produção. *STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, v. 21, n. 2, p. 20, 2002.

VASCONCELOS, A.C.M.; CASAGRANDE, A.A.; PERECIN, D.; JORGE, L. A. C.; LANDELL, M.G.A. Avaliação do sistema radicular da cana de açúcar por diferentes métodos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 27, n. 3, p. 849-858. 2003.

VILELA, L; RITCHEY, K. D.; SILVA, J. E. Respostas da soja e do milho ao enxofre num latossolo vermelho-escuro sob vegetação de cerrado no distrito federal. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 19, p. 281 - 285. 1995

VITTI, G. C.; DEMATTÊ, J. L. I.; ROLIM, J. C.; FURLAN, L. R. **Avaliação de diferentes fontes e doses de silício na cultura da cana-de-açúcar, em relação à produtividade de colmos e rendimento pol:** relatório final. Piracicaba: ESALQ/USP, 1999. 39 p.

VOS, J.; BOM, M. Hand-held chlorophyll meter: a promising tool to asses the nitrogen status of potato foliage. *Potato Research*, v. 36, p. 301-308, 1993.

WAHID, A. Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, v. 45, p. 133-141, 2004.

ZOTARELLI, L.; CARDOSO, E.G.; PICCINI, J.L.; URQUIAGA, S.; BODDEY, R.M.; TORRES, E.; ALVES, B.J.R. **Calibração do medidor de clorofila Minolta SPAD-502 para uso na cultura do milho.** Rio de Janeiro: Embrapa Agrobiologia, 2002. 4p. (Comunicado técnico, 55).