



**U F A L**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
MESTRADO EM AGRONOMIA**



**C E C A**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE CÁLCIO E SILÍCIO VISANDO A REDUÇÃO  
DO FLORESCIMENTO DA VARIEDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR RB 867515**

**Sihélio Júlio Silva Cruz**

**Rio Largo – AL**

**2010**

**SIHÉLIO JÚLIO SILVA CRUZ**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE CÁLCIO E SILÍCIO VISANDO A REDUÇÃO  
DO FLORESCIMENTO DA VARIEDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR RB 867515**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Alagoas, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

**Orientador:** Prof. Dr. Lauricio Endres

**Co - Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vilma Marques Ferreira

**Rio Largo - AL**

**2010**

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**

**Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale**

- C957e Cruz, Sihélio Júlio Silva.  
Efeito da aplicação de cálcio e silício visando a redução do florescimento da variedade de cana-de-açúcar RB 867515 / Sihélio Júlio Silva Cruz, 2010.  
44f. : grafs., tabs.
- Orientador: Laurício Endres.  
Co-Orientadora: Vilma Marques Ferreira.  
Dissertação (mestrado em Agronomia : Produção Vegetal) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Ciências Agrárias. Rio Largo, 2010.
- Bibliografia: f. 39-43.  
Apêndices. f. 44.
1. Cana-de-açúcar – Nutrição mineral. 2. *Saccharum* spp. 3. Inflorescência.  
4. Carboidratos solúveis. I. Título.

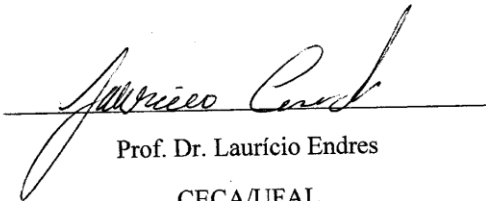
CDU: 633.61(813.5)

**SIHÉLIO JÚLIO SILVA CRUZ**

**EFEITO DA APLICAÇÃO DE CÁLCIO E SILÍCIO VISANDO A REDUÇÃO  
DO FLORESCIMENTO DA VARIEDADE DE CANA-DE-AÇÚCAR RB 867515**

Dissertação defendida e aprovada em 25 de janeiro de 2010 pela  
banca examinadora:

Orientador:

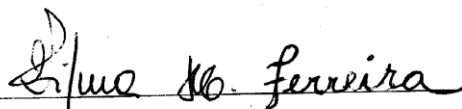


---

Prof. Dr. Laurício Endres

CECA/UFAL

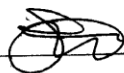
Examinadores:



---

Prof.ª Dr.ª Vilma Marques Ferreira

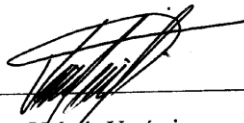
CECA/UFAL



---

Prof. Dr. José Vieira Silva

UFAL/Campus Arapiraca



---

Valtair Verissimo

UFPel

**RIO LARGO – AL, JANEIRO DE 2010**

A Deus

Aos meus Pais Severino da Cruz Filho e Maria Soledade Silva Cruz

Aos Meus Irmãos e grandes amigos, Sihara, Sidério e Simério

A minha querida esposa, Silvia Sanielle.

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por estar sempre comigo, guiando e iluminando o meu caminho;

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Lauricio Endres por todo apoio, incentivo e ensinamentos durante esse período que fiz parte do setor de fisiologia vegetal e, pelo compartilhamento de suas idéias e experiências durante a orientação do trabalho que originou esse momento de felicidade que é a conclusão de mais uma etapa na minha vida pessoal e profissional. Meu Muito Obrigado;

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vilma Marques Ferreira, pela co-orientação neste trabalho e pela amizade e ensinamentos durante minha vida acadêmica;

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

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Alagoas (FAPEAL), pela concessão da bolsa de auxílio à pesquisa durante o curso;

Ao PMGCA (Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar), pelo apoio geográfico e logístico para realização deste trabalho;

Aos Professores e Profissionais, por ter aceitado o convite para fazer parte da banca examinadora;

À Universidade Federal de Alagoas e a Unidade Acadêmica Centro de Ciências Agrárias, pela oportunidade de realização deste curso;

Aos amigos, Antônio, Carlos Jorge, Cícero, Clênio, Cristiano, Débora, Eduardo, Israel, Laís, Manuel, Pedro, Polyana, Renan, Romel, Tadeu, Tiago, Valtair, Weverton, pela grande contribuição, amizade e confiança.

A todos os colegas de graduação e pós-graduação pela convivência durante esse período;

A todos aqueles que não foram citados, mas que contribuíram para o meu sucesso, meu muito obrigado.

## RESUMO

CRUZ, S. J. S. **Efeito da aplicação de cálcio e silício visando a redução do florescimento da variedade de cana-de-açúcar RB 867515.** 2010. 44p. Dissertação de Mestrado (Agronomia Produção Vegetal e Proteção de Plantas) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, estado de Alagoas, 2010.

O presente trabalho teve por finalidade avaliar o efeito da aplicação de cálcio e silício no florescimento da variedade de cana-de-açúcar RB867515. Para tanto, o experimento foi instalado na área experimental da Estação de Florescimento e Cruzamento Serra do Ouro - PMGCA - RIDESA, município de Murici – AL (09° 14' 22, 86" S, 35° 50' 11,05" W, 480 m de altitude). A cultivar RB867515 foi submetida a quatro diferentes tratamentos, sendo T<sub>0</sub> – adubação convencional (28, 44, 28, 6, 6 e 3 gramas de N, P, K, Zn, Cu e Mn, respectivamente), T<sub>1</sub> – adubação convencional + 2 kg de gesso (1 kg no fundo da cova e 1 kg em cobertura), T<sub>2</sub> – adubação convencional + 0,058 mol<sup>-1</sup> de sulfato de cálcio via foliar, T<sub>3</sub> – adubação convencional + 0,058 mol<sup>-1</sup> de silicato de potássio via foliar. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com dez repetições. A parcela experimental foi composta por uma touceira. Antes e depois do florescimento (aos 183 e 239 dias após o plantio respectivamente), foram avaliados parâmetros morfológicos como: contagem do número de colmos por parcela, altura, diâmetro de colmos e número médio de entrenós por colmo. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e teste de médias por Tukey. As análises bioquímicas do meristema apical das plantas da variedade RB867515 mostram que a aplicação de cálcio via foliar resultou no seu acúmulo produzindo uma correlação negativa entre os teores de cálcio e potássio na planta, o que pode ter causado o retardo e a diminuição do florescimento nas plantas deste tratamento.

A aplicação de silício via foliar tem pouca ou nenhuma influência sobre a composição de minerais, açúcares no meristema apical e sobre o processo de florescimento.

**Palavras-chave:** *Saccharum spp.* Inflorescência. Nutrição mineral. Morfologia. Carboidratos solúveis.

## ABSTRACT

CRUZ, S. J. S. **Effect of the application of calcium and silicon in order to reduce the flowering of the variety of cane sugar RB 867515.** 2010. 44p. Dissertação de Mestrado (Agronomia Produção Vegetal e Proteção de Plantas) – Universidade Federal de Alagoas, Rio Largo, estado de Alagoas, 2010.

The experiment was conducted at Experimental Station of Flowering and Cruzamento of the Serra do Ouro -PMGCA – RIDESA, in the municipality of Murici - AL (09 ° 14 '22, 86 "N, 35 ° 50' 11.05" W, 480 m height). The cultivar RB867515 was underwent to four different treatments, T<sub>0</sub> - only conventional fertilization (28, 44, 28, 6, 6 and 3 grams of N, P, K, Zn, Cu and Mn, respectively), T<sub>1</sub> - conventional fertilization + 2 kg of gypsum (1 kg at the bottom of the pit and 1 kg in coverage), T<sub>2</sub> - conventional fertilization + 0.058 mol<sup>-1</sup> of calcium sulphate in the leaf e T<sub>3</sub> - conventional fertilization + 0.058 mol<sup>-1</sup> of potassium silicate in the leaf. Each experimental plot consisted of a clump. Before and after flowering (at 183 and 239 days after planting respectively) were evaluated morphological parameters such as counting the number of stems per plot, height, stalk diameter and number of internodes per stem. The data were underwent average comparison by Tukey. The biochemical analysis of the apical meristem of plants of the variety RB867515 show that application of foliar calcium resulted in its accumulation produces a negative correlation between the calcium and potassium in the plant, which may have caused the delay and the decrease in flowering plants this treatment. The application of silicon on the leaves have little or no influence on the composition of minerals, sugars in the apical meristem and on the process of flowering.

**Key words:** Inflorescence. Nutrition. Morphology. Soluble carbohydrates.



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
<p><b>FIGURA 1.</b> (A) – Temperaturas mínima (–♦–), média (–■–), e máxima (–▲–) em °C da Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL (09° 14' 22, 86" S, 35° 50' 11,05" W, 480 m de altitude m de altitude), no período de setembro de 2008 a setembro de 2009. (B) – Brilho solar automático (■) e Valores do fotoperíodo (horas) no 15º dia de cada mês (–■–).....</p>	23
<p><b>FIGURA 2.</b> Vista parcial do campo experimental na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL (09° 14' 22, 86" S, 35° 50' 11,05" W, 480 m de altitude m de altitude).....</p>	24
<p><b>FIGURA 3.</b> Aplicação dos tratamentos: cálcio via foliar (T<sub>2</sub>) e silício via foliar (T<sub>3</sub>) no campo experimental da Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL.....</p>	25
<p><b>FIGURA 4.</b> Coleta aos 183 dias após o plantio do meristema apical de plantas de cana-de-açúcar, cultivar RB867515 submetida a quatro tratamentos: T0 (controle), T1 (cálcio no solo), T2 (cálcio foliar) e T3 (silício foliar) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL.....</p>	26
<p><b>FIGURA 5.</b> Cromatograma da solução padrão para determinação dos teores de frutose, glicose, sacarose e maltose.....</p>	28
<p><b>FIGURA 6.</b> Análise dos componentes morfológicos da cultivar RB867515 submetida a quatro tratamentos: T0 (controle), T1 (cálcio no solo), T2 (cálcio foliar) e T3 (silício foliar) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL.....</p>	29
<p><b>FIGURA 7.</b> Porcentagens de colmos florescidos por touceira da cultivar RB867515 em cinco épocas: março, abril, maio, junho e julho de 2009, submetida a quatro tratamentos: controle (T<sub>0</sub>) (–♦–), cálcio no solo (T<sub>1</sub>) (–■–), cálcio foliar (T<sub>2</sub>) (–▲–) e silício foliar (T<sub>3</sub>) (–●–) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL. Médias aos 315 dias após o plantio sobrescritas por letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey.....</p>	30

- FIGURA 8.** Teores médios dos macronutrientes (P, K, Ca, Mg, e S) aos 183 dias após o plantio no meristema apical de plantas de cana-de-açúcar, cultivar RB867515 submetida a quatro tratamentos: T0 (controle), T1 (cálcio no solo), T2 (cálcio foliar) e T3 (silício foliar) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL. Médias sobrescritas por letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey..... **31**
- FIGURA 9.** Teores médios dos micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, B e Si) aos 183 dias após o plantio no meristema apical de plantas de cana-de-açúcar, cultivar RB867515 submetida a quatro tratamentos: T0 (controle), T1 (cálcio no solo), T2 (cálcio foliar) e T3 (silício foliar) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL. Médias sobrescritas por letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey..... **32**
- FIGURA 10.** Comparação dos componentes morfológicos da cultivar RB867515 entre os meses de fevereiro e julho de 2009 submetida a quatro tratamentos: T0 (controle), T1 (cálcio no solo), T2 (cálcio foliar) e T3 (silício foliar) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici/AL. Médias dentro da mesma época sobrescritas por letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey. Médias dentro do mesmo tratamento sobrescritas por “\*” diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F..... **35**
- FIGURA 11.** Concentração de carboidratos solúveis no meristema apical, da cultivar RB867515 submetida a quatro tratamentos: T0 (controle), T1 (cálcio no solo), T2 (cálcio foliar) e T3 (silício foliar) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL. Médias sobrescritas por letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey..... **36**

## LISTA DE TABELAS

	<b>Pág.</b>
<b>TABELA 1.</b> Características físicas do solo da Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro - EFCSO – PMGCA/RIDESA, Murici – Alagoas, segundo as normas da Sociedade Brasileira de Ciências do Solo.....	<b>44</b>
<b>TABELA 2.</b> Características químicas do solo da Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro EFCSO – PMGCA/RIDESA, Murici – Alagoas, entre as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade.....	<b>44</b>

## SUMÁRIO

	Pág.
<b>RESUMO</b>	
<b>ABSTRACT</b>	
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	
<b>LISTA DE TABELAS</b>	
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>12</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1 A cultura da cana-de-açúcar.....</b>	<b>14</b>
<b>2.2 Florescimento.....</b>	<b>14</b>
<b>2.3 Fotoperíodo.....</b>	<b>15</b>
<b>2.4 Temperatura.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5 Elementos estruturantes.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5.1 Cálcio.....</b>	<b>18</b>
<b>2.5.2 Silício.....</b>	<b>19</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1 implantação do experimento.....</b>	<b>22</b>
<b>3.2 Análises bioquímicas.....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.1 Determinação de carboidratos solúveis.....</b>	<b>27</b>
<b>3.2.2 Determinação de elementos minerais.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3 Análise morfológica.....</b>	<b>29</b>
<b>4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....</b>	<b>30</b>
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>38</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>39</b>
<b>APÊNDICES.....</b>	<b>44</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é originária da Ásia Meridional, geralmente, cultivada em países tropicais e subtropicais para obtenção de derivados. É uma planta de metabolismo fotossintético C4, com elevada taxa fotossintética, sendo altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química sob condições tropicais (Waldheim. et al., 2006; Taiz e Zeiger, 2009).

A prática de cultivo da cana-de-açúcar sob diferentes condições ambientais faz com que ela sofra a influência de fatores como: fotoperíodo e temperatura. Esses fatores têm efeito sobre o comportamento fisiológico da cultura em relação ao metabolismo de crescimento, maturação, florescimento e produtividade (Melo et al., 1999).

O florescimento provoca alterações morfológicas e fisiológicas nos vegetais e, especialmente na cana-de-açúcar, os processos de formação e emissão da inflorescência utilizam elevada quantidade de carboidratos solúveis, prejudicando a qualidade da matéria-prima, representando perdas quantitativas de fitomassa e sacarose. A intensidade do processo de florescimento e as conseqüências na qualidade da matéria-prima podem ser variáveis dependendo da variedade e da condição ambiental à que a planta está submetida. Mesmo as variedades não floríferas, quando cultivadas em regiões onde as condições ambientais são altamente favoráveis podem florescer (Leite e Crusiol, 2008).

Na cana-de-açúcar o florescimento é desejado quando o objetivo principal do cultivo é a obtenção de uma nova variedade através de cruzamentos sexuais, neste caso o processo é dependente do florescimento.

É possível evitar o florescimento através de praticas de cultivo como a antecipação da colheita ou atraso do plantio, uso de maturadores químicos, etc. A utilização de elementos estruturantes com o objetivo de inibir o florescimento pode ser uma boa opção.

A presença do silício (Si) no tecido vegetal tem resultado em benefícios aos vegetais, especialmente quando estes são submetidos a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico. Sabe-se que este elemento influencia a transpiração, promovendo um baixo coeficiente transpiratório, com melhor aproveitamento da água (Epstein, 1999), além de proporcionar maior rigidez estrutural aos tecidos, folhas mais

eretas, maior área fotossintética, maior absorção de CO<sub>2</sub> e resistência a ataques de insetos (Datnoff et al., 2001; Korndörfer et al., 2002a). Quanto ao florescimento não foi encontrado na literatura trabalhos que relatem a ação direta ou indireta do silício no processo de florescimento.

O cálcio aumenta a eficiência dos processos de estabilização da membrana celular evitando o aumento da perda de solutos de baixo peso molecular durante estresses por altas e baixas temperaturas (Taiz e Zeiger, 2009), e sua deficiência causa a desestruturação das paredes com subsequente colapso dos tecidos (Bonato et al., 1998). Segundo Stefanuto (2002), o aumento na concentração de cálcio reduz os danos causados pela deficiência hídrica, embora os mecanismos pelos quais o cálcio atua na redução desses danos não sejam bem conhecidos.

Santos (2007), em face aos resultados obtidos em pesquisa com cana-de-açúcar, observou que cultivares de florescimento precoce apresentavam menor concentração de cálcio no meristema apical, quando comparadas as de florescimento tardio.

Assim, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da aplicação de cálcio e silício sobre o florescimento da cultivar de cana-de-açúcar RB867515.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene da família *Poaceae*, pertencente ao gênero *Saccharum*. É uma planta de metabolismo fotossintético C4, com elevada taxa fotossintética, sendo altamente eficiente na conversão de energia radiante em energia química sob condição tropicais (Waldheim. et al., 2006; Taiz e Zeiger, 2009).

Essa planta possui classicamente quatro fases distintas de crescimento: germinação ou brotação, perfilhamento, crescimento e maturidade. Uma de suas características marcantes é o perfilhamento abundante na fase inicial de desenvolvimento. Depois de estabelecida, a competição por luz (auto-sombreamento) induz a inibição do perfilhamento e a aceleração do crescimento do colmo principal até a ocorrência de temperaturas baixas ou florescimento (Rodrigues, 1995).

Sob determinadas condições de fotoperíodo (redução do comprimento de horas de luz do dia em 30 minutos), temperaturas diárias (mínima de 18°C e máxima de 30°C), a planta de cana-de-açúcar emite uma inflorescência ou panícula com flores hermafroditas, que recebem nomes vulgares de flecha ou bandeira, cuja cor, forma e tamanho são específicos de cada cultivar (Casagrande, 1991).

Atualmente, o Brasil possui uma área aproximada de nove milhões de hectares cultivados com cana-de-açúcar (Conab, 2009), distribuídos em vários ambientes com diferentes condições climáticas, repercutindo no comportamento fisiológico em relação ao seu crescimento, maturação, florescimento e produtividade (Melo et al., 1999).

### 2.2 Florescimento

Alterações nas condições ambientais provocam mudanças no funcionamento do organismo vegetal. Reversíveis ou permanentes, essas mudanças dependem de reações determinadas geneticamente para cada organismo, além disso, pode ocorrer diferentes respostas entre indivíduos de uma mesma espécie, influenciadas pela idade, grau de adaptação e atividades sazonais ou diárias da planta (Hua et al., 2004; Larcher, 2004).

No processo de florescimento, quando a planta sofre o estímulo externo, um aumento na frequência de divisões celulares dentro da zona central do meristema apical marca a transição de seu desenvolvimento vegetativo para o reprodutivo (meristema

floral) (Larcher, 2004). Em muitos casos, a exemplo da cana-de-açúcar, os meristemas apicais não se convertem diretamente a meristemas florais, em vez disso, o meristema apical primeiro se transforma em meristema de inflorescência (Rodrigues, 1995; Matsuoka et al., 1999). Segundo Taiz e Zeiger, (2009) os meristemas de inflorescência produzem brácteas e meristemas florais na axila das mesmas, ao invés de sépalas, pétalas, estames e carpelos produzidos por meristemas florais.

Na cana-de-açúcar durante os processos de formação e emissão da panícula, a necessidade de energia para as reações bioquímicas durante o crescimento celular estimula o consumo de carboidratos, esse consumo gera uma baixa concentração de açúcares nessas células, criando assim, um gradiente de concentração que impulsiona a absorção de açúcares. A translocação do carboidrato armazenado no colmo para a região de crescimento celular pode causar a isoporização do colmo (Caputo et al., 2007; Leite e Crusciol, 2008). Caputo et al., (2007) define a isoporização como uma desidratação dos tecidos no colmo que, ao perderem água, vão adquirindo a coloração branca. Esse fenômeno se inicia nas partes internas do colmo, podendo evoluir do centro para a periferia e, ao longo do comprimento, essa evolução se dá da ponta para a base, podendo variar conforme a cultivar.

Diversos fatores influem na indução floral da cana-de-açúcar, dentre os quais os mais importantes são o fotoperíodo e a temperatura.

### **2.3 Fotoperíodo**

A vida vegetal na Terra é mantida por um fluxo de energia proveniente do sol e, por meio do processo fotossintético, essa energia radiante é fixada em energia química potencial, além de funcionar como estímulo condicionador do desenvolvimento ou fator de estresse (Larcher, 2004). Fatores ambientais e genéticos, operando conjuntamente por meio de processos fisiológicos, controlam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. A luz, especialmente considerando a duração do período luminoso ou fotoperíodo, corresponde a um dos principais fatores da interação das plantas com seu ambiente (Marques et al., 2001; Castro e Alvarenga, 2002).

No início do século passado, os cientistas americanos Garner e Henry Allard (1920), introduziram o termo fotoperíodo para a duração do dia, e fotoperiodismo para a capacidade de um organismo detectar o comprimento do dia, permitindo desse modo, o



entendimento de inúmeras respostas da planta aos estímulos ambientais, incluído a iniciação do florescimento (Castro et al., 2005).

A classificação das plantas de acordo com suas respostas fotoperiódicas está baseada no florescimento. Garner e Allard (1920) classificaram o comportamento das plantas como sendo de três tipos: plantas de dias longos (PDL), plantas de dias curtos (PDC) e plantas neutras (PN). As plantas de dias longos florescem somente quando os períodos da luz excedem uma duração crítica, normalmente florescem no fim da primavera e no início do verão, quando os dias são longos. As plantas de dias curtos florescem apenas quando os períodos luminosos são menores do que um período crítico, geralmente, estas plantas florescem no início da primavera. E as plantas neutras florescem independentemente do fotoperíodo (Castro et al., 2005; Taiz e Zeiger, 2009).

Para que o fotoperíodo possa influenciar o comportamento da planta, esta deve receber através de fotorreceptores uma combinação adequada de horas de luz e escuro, caracterizando um ciclo indutivo, sendo em seguida transmitido um sinal para o meristema apical, fazendo com que a planta floresça (Castro et al., 2005; Ymaizumi e Kay, 2006)

Taiz e Zeiger (2009) sugerem que todas as plantas utilizam os mesmos fotorreceptores, e que um mecanismo de contagem de tempo deve fundamentar tanto as respostas as épocas do ano quanto às horas do dia. Os mesmos autores acreditam que o oscilador circadiano forneça um mecanismo de medição do tempo, que serve de ponto de referência para a resposta aos sinais de luz ou escuro que chegam do ambiente.

A cana-de-açúcar é considerada sensível a redução de luminosidade e essa alteração no comprimento de horas de luz do dia, implica em menor armazenamento de açúcares, afetando todo o processo fisiológico da planta (Marchiori, 2004).

Rodrigues (1995) ressalta que, as melhores condições para o florescimento da cana-de-açúcar acontecem nas regiões equatoriais, com fotoperíodos de 12 horas de luz, mais freqüentes em latitudes de 5 a 15° S. Sendo que, mesmo dentro dessa faixa de latitudes são poucos os locais que apresentam condições ambientais favoráveis ao florescimento natural e entre esses locais pode-se destacar a Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro, localizada na zona da mata do Estado de Alagoas (Santos, 2005).

O período indutivo em Alagoas ocorre nos meses de fevereiro a março, podendo ocorrer com menos freqüência no mês de abril; e o florescimento acontece nos meses de

abril, maio e junho. Sendo a condição básica que é o fotoperíodo indutivo ocorre, invariavelmente, todos os anos, no período em que a duração do dia decresce de 12,8 para 12,3 horas de luz (Heliofábio et al., 2002).

## 2.4 Temperatura

A faixa de temperatura à qual as plantas estão expostas pode variar consideravelmente, tanto temporal como espacialmente (Iba, 2002). Cada espécie vegetal possui uma temperatura ótima de crescimento; conseqüentemente, sua distribuição geográfica é determinada pela faixa de temperatura na qual a espécie é capaz de sobreviver (Thomashow, 1999).

Para a cana-de-açúcar temperaturas próximas a 25°C tornam seu crescimento linear, enquanto que sob valores abaixo de 20°C torna-se baixo devido a alterações no metabolismo fisiológico promovidas pelo resfriamento como: descoloração ou lesões nas folhas, inibição da fotossíntese, translocação mais lenta de carboidratos, taxas respiratórias mais baixas, inibição da síntese protéica e aumento da degradação de proteínas (Scarpari, 2002).

Segundo Rodrigues (1995), por possuir tolerância a altas temperaturas, há relatos de cultivos de cana-de-açúcar em regiões com temperaturas de verão em torno de 47°C desde que haja irrigação. A faixa de temperatura considerada ótima para o desenvolvimento pleno da cana-de-açúcar está situada entre 25°C e 35°C (Rodrigues, 1995; Marques et al., 2001; Benvenuti, 2005).

Na cana-de-açúcar, a temperatura também exerce influência sobre o florescimento, sendo que períodos maiores que dez dias com temperatura mínima e máxima de 18 e 31°C favorecem o florescimento (Rodrigues, 1995). Townsend et al. (2002), observaram que todas as variedades de cana-de-açúcar introduzidas no município de Ouro Preto do Oeste/RO (20°23'08" Sul e 43°30'29" Oeste, 400 m de altitude) iniciaram processo de florescimento nos meses de abril e maio, onde constantemente foram registradas temperaturas noturnas inferiores a 20°C.

## 2.5 Elementos estruturantes

Existem elementos minerais utilizados pelas plantas em seu metabolismo de crescimento que logo após a sua absorção são depositados nos tecidos de suporte do caule e das folhas, gerando maior rigidez estrutural aos tecidos vegetais. Dentre estes podemos citar o cálcio e o silício.

### 2.5.1 Cálcio

O cálcio (Ca) é um dos principais integrantes da parede celular, onde os pectatos de cálcio existentes na lamela média são essenciais para o fortalecimento da parede. Ele desempenha duas funções distintas: interliga as cadeias pécnicas, contribuindo para sua estabilidade e altera as propriedades mecânicas do gel péctico, sendo essencial para a integridade da membrana plasmática, especificamente para a seletividade no transporte de íons (Epstein e Bloom, 2006; Taiz e Zeiger, 2009).

Estando diretamente relacionado com a atividade meristemática das plantas, o cálcio tem papel importante na multiplicação e no crescimento celular, principalmente, para o crescimento e funcionamento apropriado dos ápices radiculares (Epstein e Bloom, 2006; Taiz e Zeiger, 2009).

Em células deficientes em cálcio há um aumento na perda de solutos de baixo peso molecular, isto também ocorre em plantas com deficiência severa por desintegração total da estrutura da membrana (Schmidt et al., 2009). O Cálcio também protege a membrana plasmática dos efeitos nocivos dos íons de hidrogênio (Epstein e Bloom, 2006).

Outro aspecto importante, diz respeito às raízes das plantas, que necessitam de cálcio no próprio ambiente de absorção de água e nutrientes, isso porque as plantas não translocam o elemento pelo floema até as raízes. Dessa forma, não há crescimento de raízes em solo deficiente em cálcio, mesmo que ele seja poroso e tenha suprimento adequado de água, isto pode ser constatado pela ausência de raízes nas áreas deficientes em cálcio, mesmo que haja cálcio em outros pontos do sistema radicular (Raij, 1997).

O cálcio é absorvido pelas raízes como  $\text{Ca}^{+2}$  e sua concentração na solução do solo pode ser dez vezes maior que a concentração de potássio, porém no interior das plantas não se verifica o mesmo, pelo fato de sua absorção diminuir competitivamente

pela presença de outros cátions tais como  $K^+$  e  $NH_4^+$ , os quais são absorvidos rapidamente pelas raízes (Faquin, 2005; Novais et al., 2007).

A absorção de cátions pelas plantas não é um processo específico e depende principalmente da concentração de íons catiônicos no meio nutritivo, e, em muitos casos, da permeabilidade específica das membranas a um determinado cátion. Dessa forma, pode ocorrer competição não específica entre os cátions pelas cargas negativas da célula. O potássio, que é absorvido rapidamente pela célula, seja por processo ativo ou por difusão facilitada, compete fortemente na absorção de cátions, principalmente com o cálcio. De outra forma, concentrações adequadas de cálcio na solução são necessárias para tornar máxima a absorção do potássio. No entanto, o excesso de cálcio pode acarretar menor absorção do potássio (Assis, 1995).

Wang et al., (2003) observaram a capacidade de armazenamento de cálcio nos cloroplastos em *Arabidopsis* é afetada pela expressão transgênica do gene PPF1. A super expressão de PPF1 resultou em maior acúmulo de cálcio no cloroplasto e redução no florescimento das plantas.

Santos (2007), em face aos resultados obtidos em pesquisa com cana-de-açúcar, observou que cultivares de florescimento precoce apresentavam menor concentração de cálcio no meristema apical, quando comparadas as de florescimento tardio.

### 2.5.2 Silício

O silício (Si) é um dos elementos mais abundantes na crosta terrestre, ocorrendo principalmente no mineral inerte o quartzo ( $SiO_2$ ), bem como na caulinita e outros minerais de argila (Sanchez, 2003). É o componente majoritário do grupo dos silicatos, apresentando-se na forma livre ou dissolvido na solução do solo ( $H_4SiO_4$  - ácido monossilícico), podendo ter origem nos processos de intemperização dos minerais primários e particularmente dos minerais secundários como os argilo-silicatos (Ma et al., 2001).

Os solos tropicais e subtropicais possuem, geralmente, baixos teores de silício disponível para as plantas, sendo o manejo intensivo e a monocultura sistemas que podem levar rapidamente ao seu esgotamento e em consequência reduzir a sustentabilidade de diversas culturas (Korndörfer et al., 2002a; Melo, 2005).

Na planta, o silício é absorvido na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ) e sua distribuição está relacionada com a taxa transpiratória. Esta distribuição depende muito da espécie: é uniforme nas plantas que acumulam pouco silício e nas acumuladoras, como arroz (*Oryza sativa*), 90% do elemento encontra-se na parte aérea (Mengel e Kirkby, 2001).

Os efeitos benéficos do silício são demonstrados em vários estudos com espécies vegetais, especialmente quando estas plantas são submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico (Ma et al., 2001; Korndörfer et al., 2002a). Depois de 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 de transpiração com melhor aproveitamento da água, maior rigidez estrutural dos tecidos, folhas mais eretas proporcionando uma área fotossinteticamente maior e atraso na senescência (Epstein, 1999; Mengel e Kirkby, 2001).

Agarie et al., (1998) estudando os efeitos do silício na transpiração e condutância foliar de plantas arroz, observaram que as plantas submetidas aos tratamentos com silício apresentaram aumento de massa seca. O silício pode ter sido uma das razões para o aumento da massa seca pela maior atividade fotossintética que proporcionou. Também observaram melhor aproveitamento da água do solo, provavelmente devido à redução na evapotranspiração.

Gao et al., (2004) observaram que plantas de milho sob condições de estresse hídrico induzido e adubadas com silício apresentaram maior eficiência do uso de água, menor transpiração e maior resistência estomática. Para os autores, a hipótese que explicaria esse fato seria a redução da transpiração, devido ao aumento da resistência cuticular estomática.

Segundo Schmidt et al., (1999), o silício aumenta os níveis de enzimas antioxidantes, a capacidade fotossintética e o conteúdo de clorofila em gramíneas sob condições de baixa umidade. Liang (1999) observou que plantas de arroz cultivadas em solução nutritiva contendo silício apresentavam atividade de enzimas antioxidantes 24% maior do que as plantas cultivadas em meio sem silício, sob condições de estresse salino. Para o autor, o silício contribuiu para manutenção da integridade da membrana, diminuindo sua permeabilidade.

Para Wang e Galletta (1998), o silício aumenta o conteúdo de glicolipídeos e fosfolipídeos em plantas de morango, o que estaria relacionado ao incremento do conteúdo de clorofila e a maior estabilidade e funcionamento da membrana plasmática.

Em relação ao florescimento, na literatura não foram encontrados trabalhos que correlacionem o teor de silício na planta com as taxas de florescimento.

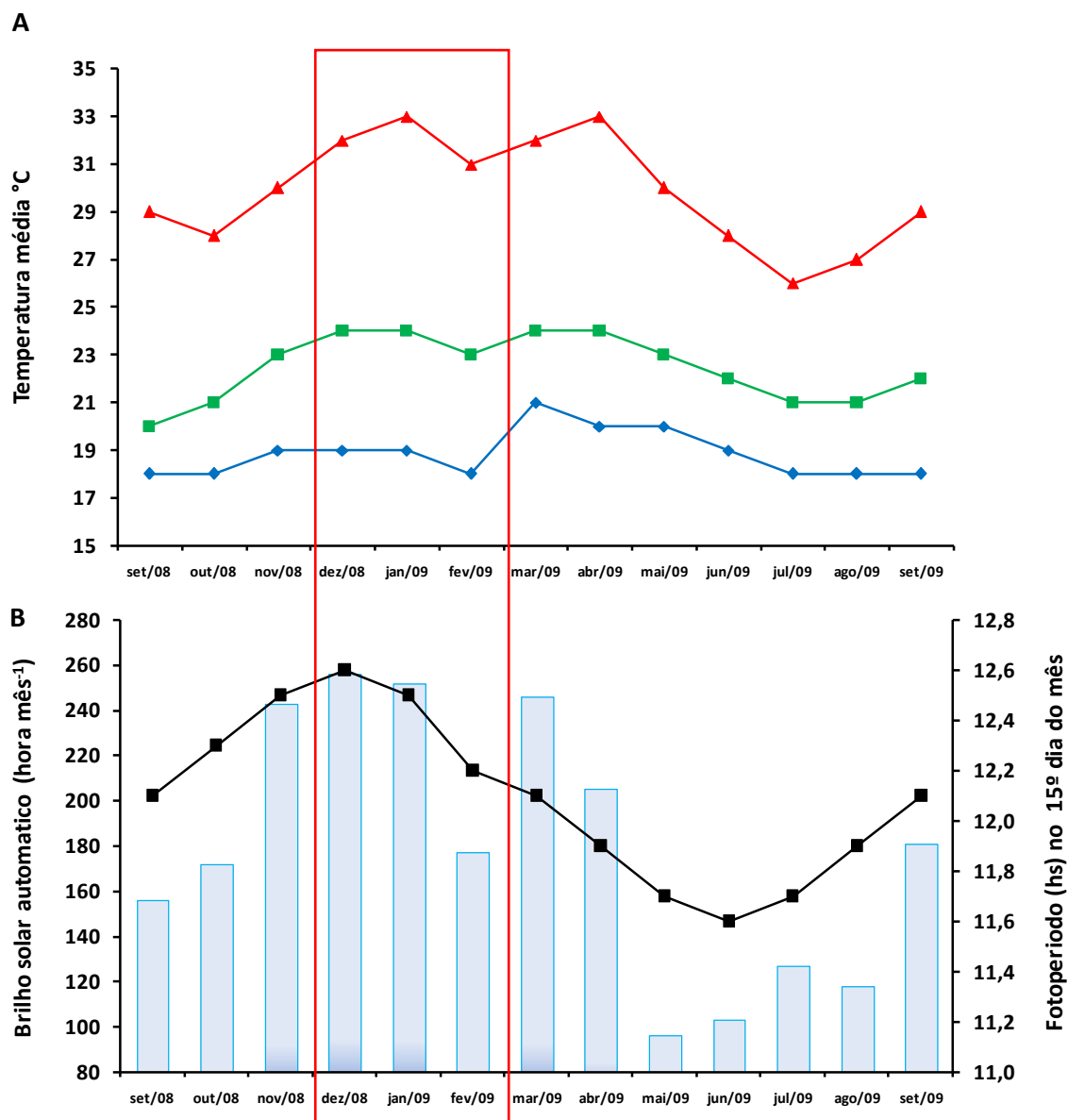
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Implantação do experimento

O experimento foi implantado em 04 de setembro de 2008, sob condições de campo na Estação de Florescimento e Cruzamento Serra do Ouro - PMGCA - RIDESA, no município de Murici – AL (09° 14' 22, 86" S, 35° 50' 11,05" W, 480 m de altitude). O solo é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo, distrófico típico, A moderado, textura argilosa com relevo ondulado (10 a 12% de declividade). As análises físico-químicas são apresentadas na Tabelas 1 e 2 (ver anexo).

Durante toda a fase experimental foram coletados dados climatológicos de uma estação meteorológica automatizada, situada a 500 metros do local do experimento. Os dados de temperatura, brilho solar e fotoperíodo estão apresentados na figura 1.

Entre os meses de dezembro de 2008 e fevereiro de 2009 foi observado uma redução acentuada das médias de temperatura, fotoperíodo e brilho solar. Neste período a temperatura mínima não ultrapassou os 19°C e a máxima os 32°C. Acompanhadas de uma redução de 0,4 hora do fotoperíodo e 79 horas mês<sup>-1</sup> do brilho solar.



**Figura 1.** (A) – Temperaturas mínima (---◆---), média (---■---), e máxima (---▲---) em °C da Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL (09° 14′ 22,86″ S, 35° 50′ 11,05″ W, 480 m de altitude m de altitude), no período de setembro de 2008 a setembro de 2009. (B) – Brilho solar automático (■) e Valores do fotoperíodo (horas) no 15º dia de cada mês (---■---).



O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com dez repetições. A parcela experimental foi composta por uma touceira, espaçadas 2,0 m entre si (Figura 2).



**Figura 2.** Vista parcial do campo experimental na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL (09° 14' 22, 86" S, 35° 50' 11,05" W, 480 m de altitude m de altitude).

A variedade estudada foi a RB867515, esta possui alta velocidade de crescimento, porte alto, alta densidade de colmo, tolerante a seca com alto teor de sacarose. Sob condições ambientais satisfatórias ela floresce profusamente.

Foram utilizados quatro diferentes tratamentos, sendo T<sub>0</sub> – somente adubação convencional (28, 44, 28, 6, 6 e 3 gramas de N, P, K, Zn, Cu e Mn, respectivamente) por cova, T<sub>1</sub> – adubação convencional + 2 kg de gesso aplicados: 1 kg no fundo da cova (30 cm) e 1 kg em cobertura (30 dias após o plantio), T<sub>2</sub> – adubação convencional + (0,058 mol<sup>-1</sup> de sulfato de cálcio via foliar), T<sub>3</sub> – adubação convencional + (0,058 mol<sup>-1</sup> de silicato de potássio via foliar).

O plantio foi realizado em caixas, com toletes contendo uma gema, previamente tratadas termicamente por um período de duas horas, a 50°C, para controlar o raquitismo

da soqueira. Após 30 dias de plantio em caixas, as mudas de cana-de-açúcar foram transplantadas para o campo experimental. Não houve aplicação de calcário na área, para que não ocorresse possíveis interferências com as fontes de cálcio utilizadas. Foi instalado um sistema de irrigação por micro-aspersão para o suprimento de água durante toda a fase de execução do experimento. As aplicações de sulfato de cálcio e silicato de potássio ocorreram aos 90, 120 e 150 dias após o plantio pulverizando-se até o ponto de escoamento (Figura 3).



**Figura 3.** Aplicação dos tratamentos: cálcio via foliar ( $T_2$ ) e silício via foliar ( $T_3$ ) no campo experimental da Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL.

### 3.2 Análises bioquímicas

Aos 183 dias após o plantio foram coletadas amostras do meristema apical até o entre nó três das plantas, para a determinação das concentrações de carboidratos solúveis e elementos minerais. Neste processo foram colhidas quatro plantas por parcela, duas para determinação de açúcares, duas para minerais. No ato da coleta todas as amostras foram acondicionadas em nitrogênio líquido (Figura 4).



**Figura 4.** Coleta aos 183 dias após o plantio do meristema apical de plantas de cana-de-açúcar, cultivar RB867515 submetida a quatro tratamentos: T0 (controle), T1 (cálcio no solo), T2 (cálcio foliar) e T3 (silício foliar) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL.

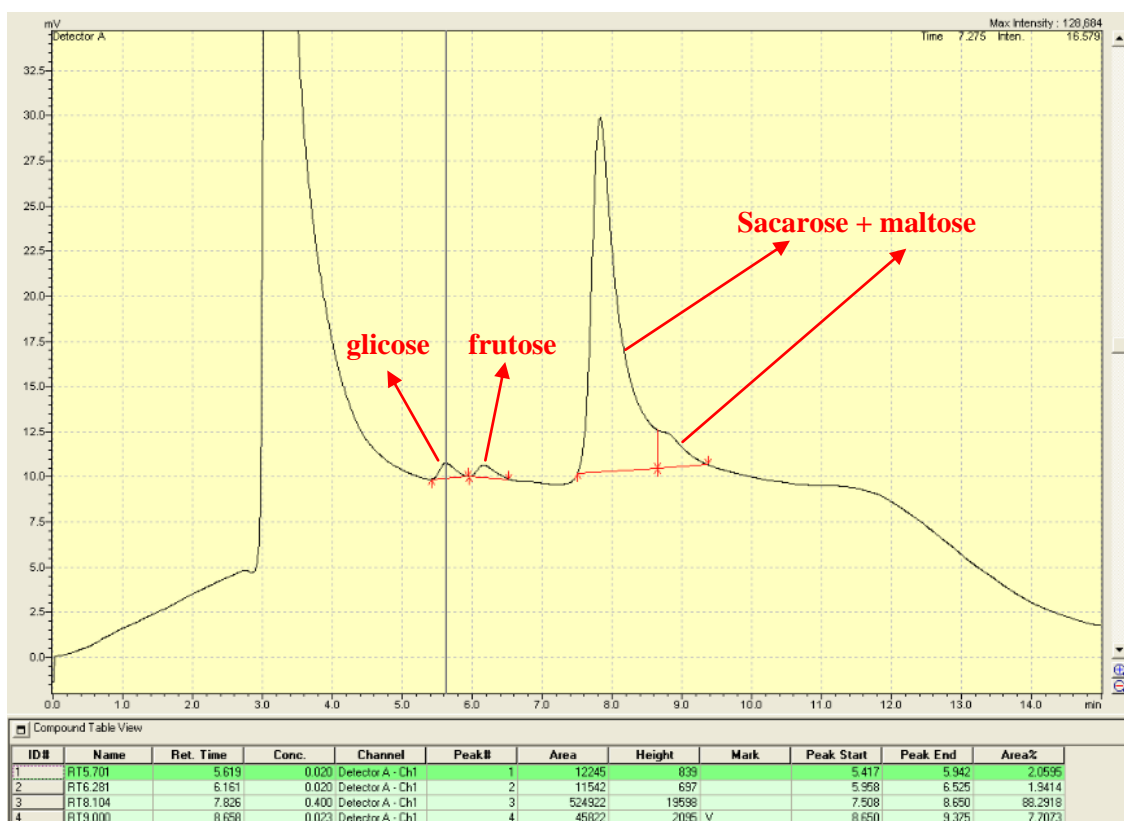
### 3.2.1 Determinação de carboidratos solúveis

As amostras coletadas no campo foram secas através do processo de liofilização até a atingirem peso constante. Posteriormente, 20 mg de cada amostra foi colocada em grau de almofariz, adicionando-se 2 mL de água deionizada na maceração e mais 2 mL para lavar o cadinho, totalizando 4 mL. A mistura foi agitada por 1 minuto a cada 15 minutos, por uma hora. Em seguida as amostras foram centrifugadas a 3.000 rpm, por 15 minutos, à temperatura ambiente. O sobrenadante (extrato) foi coletado para microtubos de 2 mL e levados novamente a centrifugação a 6.000 rpm, por 10 minutos, à temperatura ambiente. O sobrenadante foi coletado novamente para microtubos de 2 mL e armazenado em ultra-frízzer com temperatura de -80°C.

Para a determinação dos teores de frutose, glicose, sacarose e maltose pelo método de análise por cromatografia líquida de alta performance (HPLC), as amostras sofreram a seguinte diluição: 50% amostra (extrato) + 50% de solução contendo a fase móvel (75% acetonitrila + 25% água ultra-pura). A solução padrão foi composta por: 0,4% de sacarose + 0,02% glicose + 0,02% frutose + 0,02% maltose.

O equipamento utilizado constitui-se de bombas modelo ProStar (Varian), injetor manual modelo 7125 (Rheodyne) com *loop* de 20 µL, detector de índice de refração modelo R401 (Waters). A coluna analítica é de (300 mm x 8 mm) e pré-coluna de aço inox KS-G. A temperatura da coluna 22°C.

A quantificação de sacarose e maltose ocorreu de forma unificada em função da dificuldade na identificação da área correspondente a maltose no cromatograma gerado após a análise da amostra injetada (Figura 5).



**Figura 5.** Cromatograma da solução padrão para determinação dos teores de frutose, glicose, sacarose e maltose.

### 3.2.2 Determinação de elementos minerais

As amostras de biomassa do meristema apical coletadas no campo foram secas em estufa de ventilação forçada a 65°C, onde permaneceram até a estabilização do peso seco. Posteriormente essas amostras foram analisadas pelo Laboratório do Instituto Campineiro de Análise de Solo e Adubos Ltda. – ICASA, Campinas – SP.

Para a quantificação das concentrações de nutrientes: potássio (K) realizou-se a digestão nitroperclórica e determinação em espectrofotometria de chama (Silva et al., 2009). Silício (Si) realizou-se a digestão em forno de microondas e determinação em espectrofotometria de chama (Pereira et al., 2008). Fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) e boro (B) realizou-se a digestão nitroperclórica e determinação por espectrometria de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-AES) [Silva et al., 2009].

Aos 183 dias após o plantio iniciou-se a avaliação semanal do percentual de colmos florescidos por cova, mediante a observação da emissão da panícula, calculando

a relação do número de colmos florescidos pelo número total de colmos, multiplicado por cem.

### 3.3 Análise morfológica

Aos 183 e 239 dias após o plantio (antes e depois do florescimento respectivamente), foram avaliados parâmetros morfológicos como: contagem do número de colmos por parcela, altura, diâmetro de colmos e número médio de entrenós por colmo. O número de colmos foi obtido através da contagem dos colmos formados e desenvolvidos na área útil de cada parcela, que corresponde a uma touceira. A altura do colmo foi medida da base do colmo até a lígula da folha +1, com auxílio de uma trena de 3,0 m de comprimento. O diâmetro do Colmo foi obtido na parte mediana do mesmo, utilizando um paquímetro.

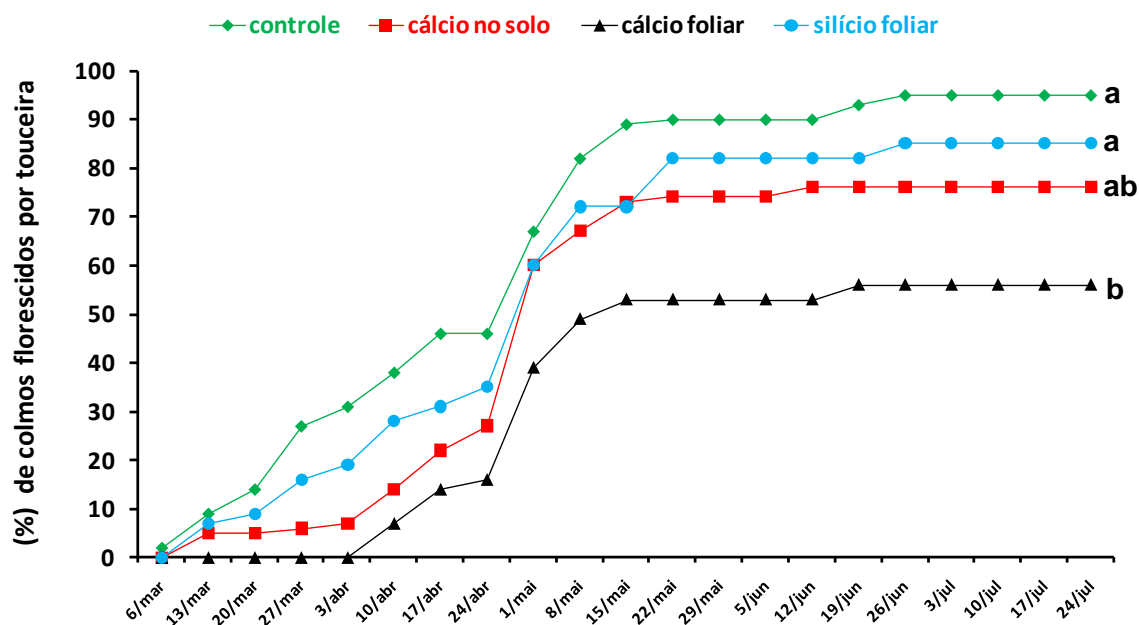


**Figura 6.** Análise dos componentes morfológicos da cultivar RB867515 submetida a quatro tratamentos: T0 (controle), T1 (cálcio no solo), T2 (cálcio foliar) e T3 (silício foliar) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL.

Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e teste de médias por Tukey.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

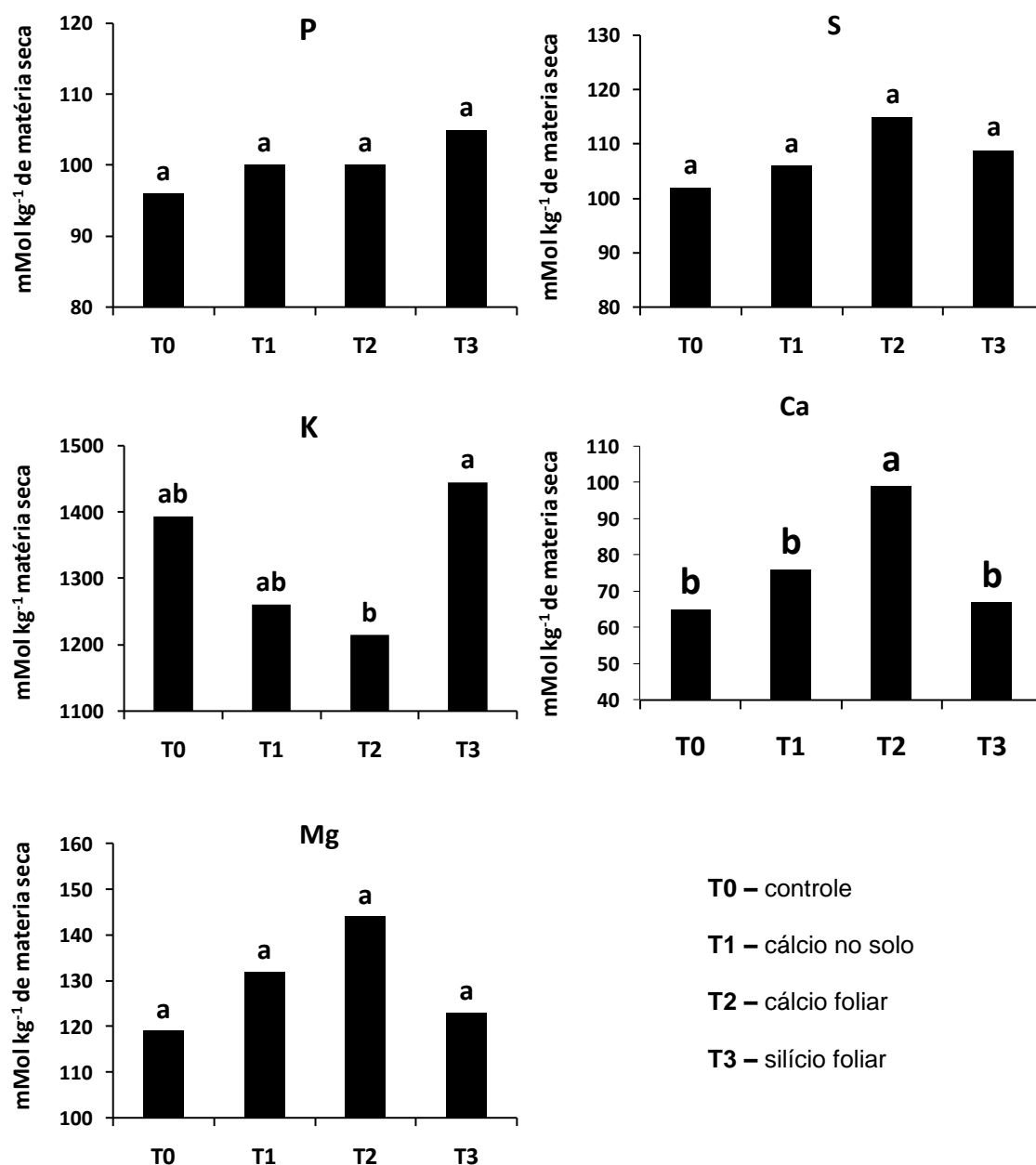
O início do processo de florescimento ocorreu no mês de março de 2009 com um significativo aumento das taxas entre os meses de abril e maio, até sua estabilidade nos meses de junho e julho (Figura 7). A aplicação de cálcio via foliar retardou e inibiu significativamente a taxa de floração. A aplicação de silício via foliar e de cálcio no solo não tiveram êxito sobre a taxa de florescimento quando comparados ao controle. Ao final do mês de julho, os índices de florescimento foram 92, 76, 56 e 85% nos tratamentos controle, cálcio no solo, cálcio foliar e silício foliar, respectivamente.



**Figura 7.** Porcentagens de colmos florescidos por touceira da cultivar RB867515 em cinco épocas: março, abril, maio, junho e julho de 2009, submetida a quatro tratamentos: controle (T<sub>0</sub>) (---◆---), cálcio no solo (T<sub>1</sub>) (---■---), cálcio foliar (T<sub>2</sub>) (---▲---) e silício foliar (T<sub>3</sub>) (---●---) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL. Médias aos 315 dias após o plantio sobrescritas por letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey

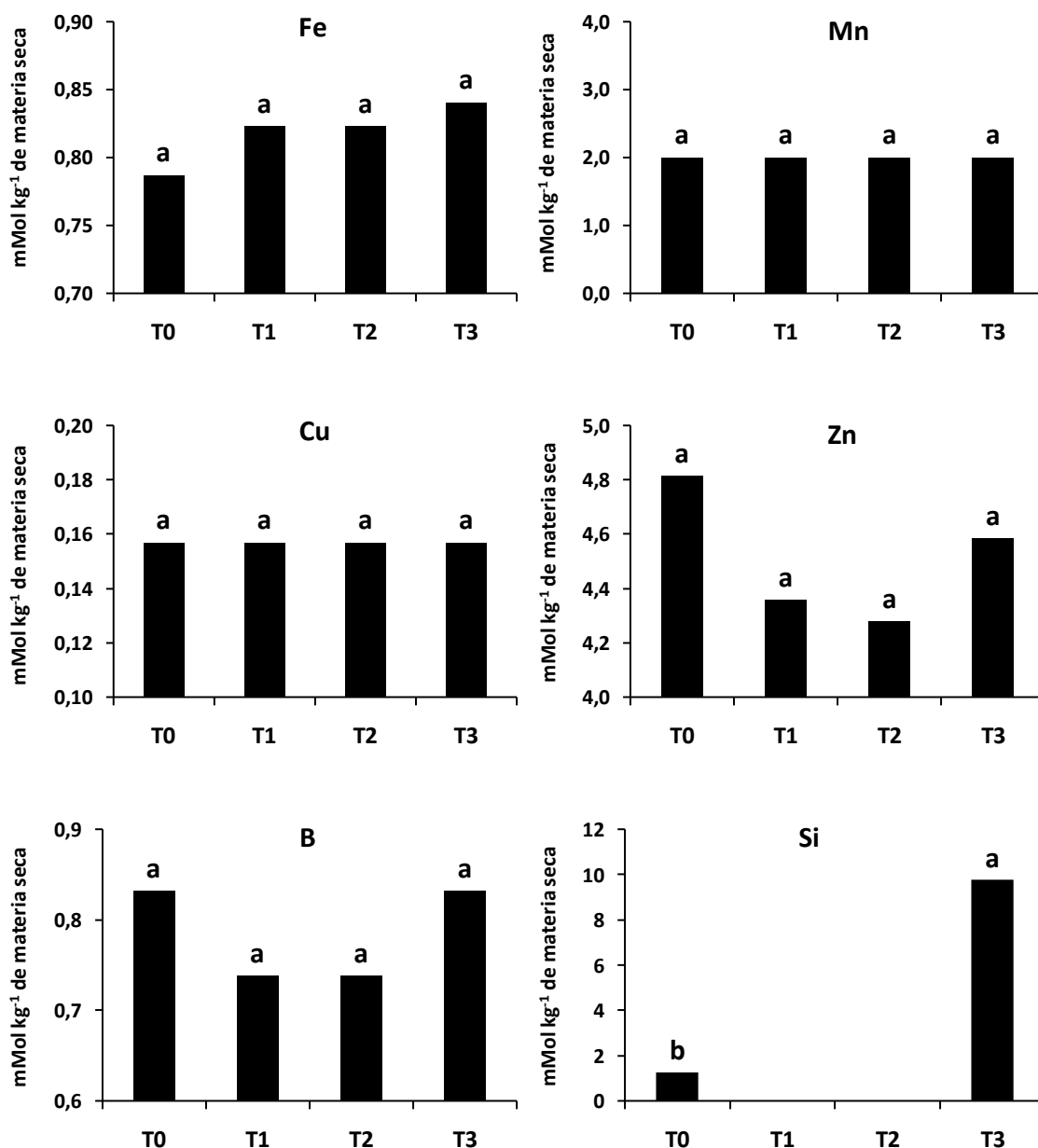
A aplicação de cálcio via foliar (T<sub>2</sub>) alterou a composição mineral no meristema apical. Os meristemas submetidos a este tratamento apresentaram as maiores concentrações de cálcio e as menores de potássio (Figura 5). Observou-se uma forte correlação negativa entre os dois minerais ( $r = -0,87$ ). A aplicação de cálcio no solo (T<sub>1</sub>) também apresentou o mesmo comportamento, embora não houvesse diferença significativa em relação ao controle (T<sub>0</sub>) ( $r = -0,85$ ). Plantas submetidas a aplicação de

silício via foliar (T<sub>3</sub>) apresentaram aumento significativo nas concentrações de silício em seus meristemas (Figura 6). A concentração dos demais nutrientes não sofreu diferença significativa no meristema apical (Figuras 8 e 9).



**Figura 8.** Teores médios dos macronutrientes (P, K, Ca, Mg, e S) aos 183 dias após o plantio no meristema apical de plantas de cana-de-açúcar, cultivar RB867515 submetida a quatro tratamentos: T0 (controle), T1 (cálcio no solo), T2 (cálcio foliar) e T3 (silício foliar) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL. Médias sobrescritas por letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey





**Figura 9.** Teores médios dos micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, B e Si) aos 183 dias após o plantio no meristema apical de plantas de cana-de-açúcar, cultivar RB867515 submetida a quatro tratamentos: T0 (controle), T1 (cálcio no solo), T2 (cálcio foliar) e T3 (silício foliar) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL. Médias sobrescritas por letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey

As alterações encontradas nas concentrações de cálcio e potássio podem estar relacionadas ao antagonismo existente entre esses elementos. Segundo Malavolta (2006) altas concentrações de cálcio podem provocar um efeito negativo na absorção de potássio e vice-versa. Desse modo, os menores teores de cálcio no solo (Tabela 2) e nas plantas submetidas aos tratamentos controle (T<sub>0</sub>) e silício foliar (T<sub>3</sub>) [Figura 8] podem ter proporcionado a essas, uma melhor condição para a absorção de potássio.

Santos (2007), estudando a época de florescimento da cana, observou que existe uma correlação negativa entre os teores de cálcio e potássio no meristema apical. Para o autor, quanto mais precoce a variedade em relação a floração, maior a quantidade de potássio e menor a de cálcio no meristema apical.

Caputo et al. (2007) afirmam que durante o processo de florescimento da cana-de-açúcar, é fundamental que o transporte do carboidrato armazenado para a região apical não seja afetado na fase de formação e emissão da inflorescência.

Segundo Prado (2009) diversos trabalhos têm atribuído ao potássio o transporte de fotossintatos no floema, sendo este um processo ativo, que requer energia a partir da atividade das ATPases nas membranas. Assim, o potássio favorece a passagem ativa de fotoassimilados pelas membranas dos tubos crivados e também favorece o fluxo passivo dos solutos dentro dos tubos, pois o mesmo mantém o pH alto, facilitando assim o transporte da sacarose. O transporte de solutos ou fotossintatos é importante em todos os estádios de desenvolvimento das culturas. Em cana-de-açúcar, plantas bem-supridas em potássio, após 90 minutos, 50% dos compostos fotossintetizados foram exportados da folha para outros órgãos e 20% do total já estavam nos tecidos de reserva (colmo). Em situação de deficiência, mesmo após 4 horas, as taxas de transporte foram bem menores (Marschner,1986).

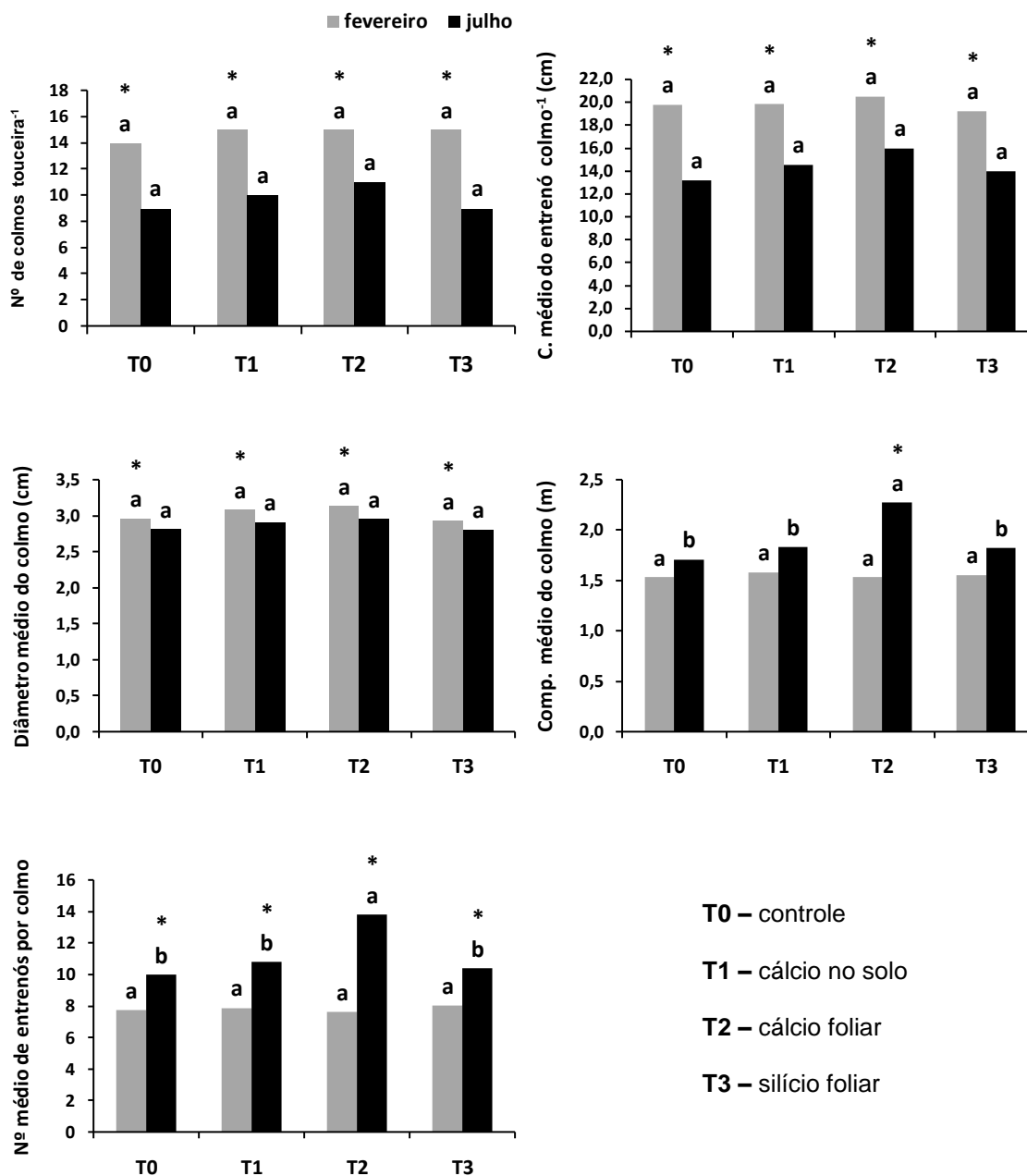
Nesse sentido, o trabalho realizado por Oliveira (2008), mostrou que a deficiência de potássio pode afetar significativamente o movimento da sacarose da folha para o colmo e do colmo para o ápice da cana-de-açúcar. Rodrigues (1995) observou que uma grande deficiência de potássio na cana-de-açúcar produz aumento na respiração foliar e conversão de açúcares intermediários à sacarose, todos esses efeitos adicionados à restrição no transporte de açúcares.

Os resultados de Santos (2007) e os do presente trabalho mostram que para haver o processo de florescimento é necessário que a planta apresente altos níveis de potássio no meristema apical, o que sugere que a deficiência desse mineral possa estar relacionada a deficiência no transporte de sacarose para o meristema apical necessária para a indução no florescimento.

A aplicação de silício via foliar (T<sub>3</sub>) proporcionou às plantas altas concentrações desse elemento no meristema apical. No entanto, não foi observada redução significativa do florescimento. Os efeitos benéficos do silício são demonstrados em vários estudos com espécies vegetais, especialmente quando estas plantas são

submetidas a algum tipo de estresse, seja ele de caráter biótico ou abiótico (Ma et al., 2001; Korndörfer et al., 2002a).

A análise dos componentes morfológicos da cana-de-açúcar mostrou que entre a fase de pré-floração e após a floração, houve redução no número de colmos por touceira e no diâmetro médio do colmo e aumento no número e comprimento dos entrenós em todos os tratamentos (Figura 10). Entre os tratamentos, a aplicação de cálcio via foliar (T<sub>2</sub>) aumentou significativamente o comprimento médio do colmo e o número médio de entrenós por colmo somente na fase de pós-floração.

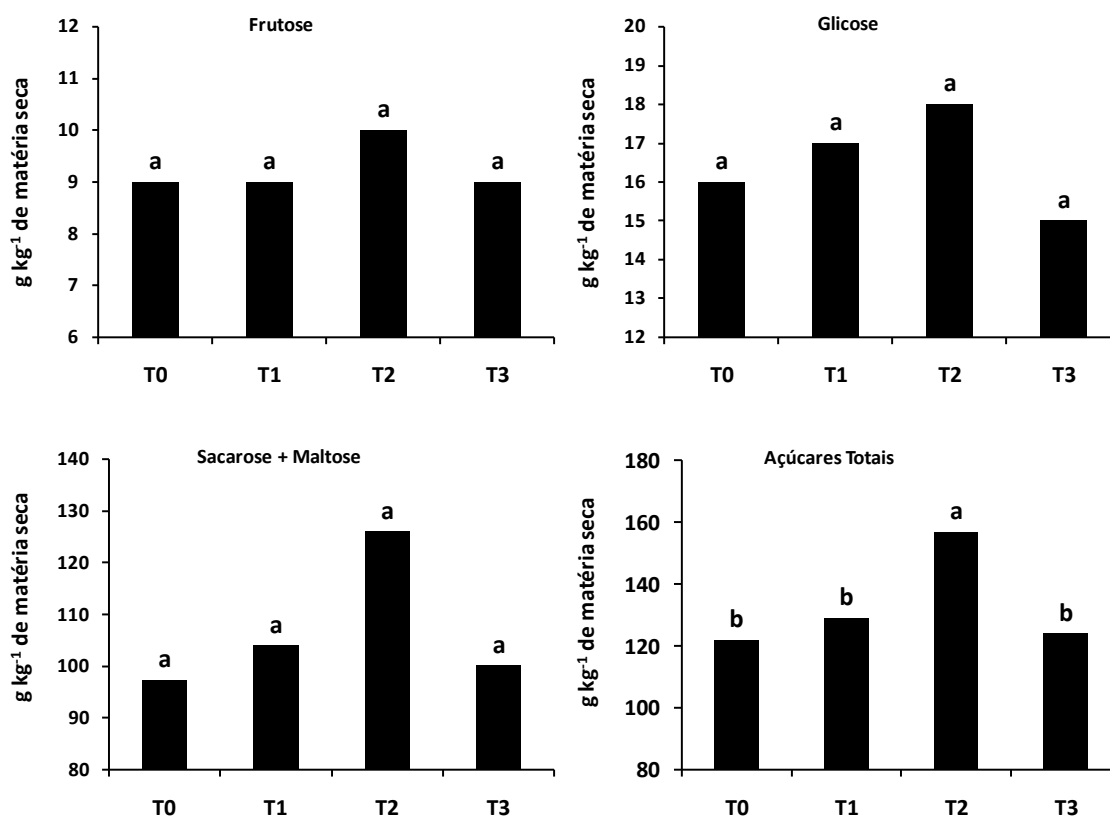


**Figura 10.** Comparação dos componentes morfológicos da cultivar RB867515 entre os meses de fevereiro e julho de 2009 submetida a quatro tratamentos: T0 (controle), T1 (cálcio no solo), T2 (cálcio foliar) e T3 (silício foliar) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici/AL. Médias dentro da mesma época sobrescritas por letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey. Médias dentro do mesmo tratamento sobrescritas por “\*” diferem significativamente ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F

O processo de floração alterou drasticamente os componentes morfológicos da cana. Branco et al. (2009), em trabalho com cana-de-açúcar observam que as variedades com maiores porcentagem de florescimento sofreram redução do diâmetro do colmo na ordem de 25 e 50%. Já Matsuoka et al. (1999) concluíram que ao florescer a cana-de-açúcar interrompe a fase vegetativa, paralisando o crescimento do colmo e

promovendo a senescência das folhas. Enquanto Townsend et al. (2006), estudando a adaptabilidade de variedades de cana-de-açúcar para fins forrageiros verificaram que a variedade que floresceu menos apresentou as maiores médias de altura de plantas e acúmulo de matéria seca.

Os teores de frutose, glicose, sacarose + maltose no meristema apical não apresentaram diferença significativas entre os tratamentos. No entanto, quando somado o teores dos açúcares quantificados, houve um aumento significativo nas plantas tratadas com Cálcio (Figura 11).



**Figura 11.** Concentração de carboidratos solúveis no meristema apical, da cultivar RB867515 submetida a quatro tratamentos: T0 (controle), T1 (cálcio no solo), T2 (cálcio foliar) e T3 (silício foliar) na Estação Experimental Serra do Ouro – Murici – AL. Médias sobrescritas por letras iguais não diferem ao nível de 5% de probabilidade pelo Teste Tukey

As coletas de meristemas para quantificação de açúcares foram feitas no final do mês de fevereiro quando algumas gemas já estavam diferenciadas em gemas florais nos tratamentos testemunha ( $T_0$ ), plantas tratadas com cálcio via solo ( $T_1$ ) e silício via foliar ( $T_3$ ), verificado por alterações morfológicas no meristema (dados não mostrados). As altas concentrações de cálcio retardaram o processo de florescimento (Figura 7) mantendo as taxas de carboidratos solúveis superiores aos demais tratamentos. Portanto, o aumento da necessidade de energia para as reações bioquímicas durante o crescimento celular para formação e emissão da inflorescência pode ter estimulado o consumo de carboidratos, reduzindo sua concentração nos meristemas das plantas dos tratamentos controle ( $T_0$ ), cálcio via solo ( $T_1$ ) e silício via foliar ( $T_3$ ) (Figura 11).

Santos (2007) relata que houve uma tendência de o teor de carboidrato na folha diminuir com a evolução da maturidade das cultivares de cana-de-açúcar durante o início do processo indutivo, sendo que a variedade, que não floresce, apresentou teor de carboidratos solúveis 7,0% maior do que a médias das cultivares que floresceram.

Tasso Junior, et al., (2009) e Townsend (2000), em trabalhos com cana-de-açúcar, observaram que os colmos florescidos apresentavam altos índices de isoporização com queda significativa nos teores de açúcares armazenados do colmo.

Segundo Durães (2006), o início do florescimento consome muita energia em plantas de milho. O grande movimento de carboidratos em direção aos órgãos com atividade metabólica intensa como o meristema, acabam por culminar com o alto grau de isoporização do colmo.

Yee e Tisse (2005) observaram que em plantas de *Heliconia sp*, ocorreu diminuição de açúcares solúveis nas folhas e caule durante o período de florescimento. Menino et al., (2003) relataram que a intensidade de florescimento em laranjeiras é dependente do conteúdo de carboidratos nas folhas, sendo que não é um efeito direto e sim, devido a seu uso como substrato para síntese de metabólitos fundamentais como aminoácidos, ácidos graxos, proteínas, celulose, entre outros.

## 5 CONCLUSÕES

- A aplicação de cálcio via foliar resultou no seu acúmulo no meristema apical;
- Existe uma correlação negativa entre os teores de cálcio e potássio no meristema apical;
- A aplicação foliar de cálcio retardou e diminuiu o florescimento da cultivar RB867515;
- A aplicação via foliar de silício tem pouca ou nenhuma influência sobre a composição de minerais, açúcares no meristema apical e sobre o processo de florescimento;

## REFERÊNCIAS

AGARIE, S; UCHIDA, H; AGATA, W; KUBOTA, F; KAUFMAN, P. T. Effects of silicon on transpiration and leaf conductance in rice plants (*Oryza sativa* L.). Plant Production Science, Tokyo, v. 1, p. 89-95, 1998.

ASSIS, R. P. de. Nutrição mineral e crescimento de mudas de dendezeiro (*Elaeis guinensis* Jacq.) em função de diferentes relações entre K, Ca e Mg na solução nutritiva. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras UFLA, Lavras, 41p, 1995.

BARBIERI, V. Condicionamento climático da produtividade potencial da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.): um modelo matemático-fisiológico de estimativa. (Tese de Doutorado), Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, Piracicaba, 142p, 1993.

BARBOSA FILHO, M. P; SNYDER, G. H; FAGERIA, N. K; DATNOFF, L. E; SILVA, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para o arroz de sequeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 25, p. 325-30, 2001.

BENVENUTI, F. A. Relação de índices espectrais de vegetação com a produtividade da cana-de-açúcar e atributos edáficos. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, 120p, 2005.

BONATO, E. R; BERTAGNOLLI, P. F; IGNACZAK, J. C. Desempenho de cultivares de soja em três épocas de semeadura, no Rio Grande do Sul. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 33, n. 6, p. 879-884, 1998.

BRANCO, R. V; SILVA NETO, H. F. da; TASSO JUNIOR, L. C; LEBRE, A. C. P; MARQUES, M. O. Avaliação da intensidade de florescimento e isoporização do colmo de diferentes cultivares de cana-de-açúcar. Anais...XII Congresso Brasileiro de Fisiologia Vegetal – CBFV, Fortaleza, 2009.

CAPUTO, M. M; SILVA, M. A; BEAUCLAIR, E. G. T; GAVA, G. J. C. Acúmulo de sacarose, produtividade e florescimento de cana-de-açúcar sob reguladores vegetais. Interciência, v. 32, n. 12, 2007.

CASAGRANDE, A. A. Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar. Jaboticabal: FUNEP, 157p, 1991.

CASTRO, A. H. F; ALVARENGA, A. A. Influência do fotoperíodo no crescimento inicial de plantas de confrei (*Symphytum officinale* L.). Ciência Agrotecnica, v. 26, n. 1, p. 77-86, jan/fev, 2002.

CASTRO, P. R. C. Aplicações da fisiologia vegetal no sistema de produção da cana-de-açúcar. In: Simpósio Internacional de Fisiologia da Cana-de-açúcar. Anais... STAB, Piracicaba. p. 1-9, 2000.

\_\_\_\_\_; KLUGE, R. PERES, Manual de Fisiologia Vegetal – Teoria e Prática, Livroceres, São Paulo, 650p, 2005.



CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <http://www.conab.gov.br>. Acesso em: 15 fev. 2009.

DATNOFF, L. E; SNYDER, G. H; KORNDÖRFER, G. H. Silicon in agriculture. studies in plant science. Amsterdam: Elsevier, 403p, 2001.

DURÃES, F. O. M. “Isoporização” em Colmo de Milho. Comunicado Técnico, Embrapa, Sete Lagoas, n. 138, 2p, 2006.

EPSTEIN, E. Silicon. *Annual Review of Plants Physiology and Plant Molecular Biology*, v. 50, p. 641-664, 1999.

\_\_\_\_\_; BLOOM, A. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina: Editora Planta, p. 209-243, 2006.

FAQUIN, V. Nutrição mineral de plantas. Curso de especialização em Fertilidade do solo e nutrição de plantas no agronegócio. Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras, 183p, 2005.

GAO, X; ZOU, C; WANG, L; ZHANG, F. Silicon improves water use efficiency in Maize plants. *Journal of Plant Nutrition*, v. 27, n. 8, p. 1457-1470, 2004.

GARNER, W. W; ALLARD, H. A. Effect of relative length of day and night and others factors of the environment on growth and reproduction in plants. *Journal of Agricultural Research*, Washington, v. 18, n. 11, p. 553-606, 1920.

GOMES, H. B; FERREIRA, R. A; GOMES, H. B; FILHO, M. R. T; AMORIN, R. C. F; CABRAL, S. L. Associação das variações meteorológicas com o florescimento da cana-de-açúcar em alagoas – um estudo de caso. Disponível em: [www.cbmet.com/cbm-files/22-a8301fc48c619019767f20ca46d7b8bb.doc](http://www.cbmet.com/cbm-files/22-a8301fc48c619019767f20ca46d7b8bb.doc). Acesso em: fevereiro de 2010.

HUA, W; ZHANG, L; SHUPING, L. S; JONES, R. L, LU, Y. T. A tobacco calcium/calmodulin-binding protein kinase functions as a negative regulator of flowering. *Journal of Biological Chemistry*. v. 279, p. 30, 2004.

IBA, K. Acclimate response to temperature stress in higher plants: approaches of gene engineering for temperature tolerance. *Revista Plant Biology*. v. 53, p. 225-245, 2002.

KORNDÖRFER, G. H; PEREIRA, H. S; CAMARGO, M. S. de. Papel do silício na produção de cana-de-açúcar. *Revista STAB*, Piracicaba. v. 21, n. 1, p. 6-9. 2002a.

\_\_\_\_\_; PEREIRA, H. S; CAMARGO, M. S. de. Silicato de cálcio e magnésio na agricultura. Uberlândia Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, 2002b.

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. São Carlos, editora: Rima, 531p, 2004.

LEITE, G. H. P; CRUSCIOL, C. A. C. Reguladores vegetais no desenvolvimento e produtividade da cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 43, n. 8, p. 995-1001, 2008.

- LIANG, Y. Effects of silicon on enzyme activity and sodium, potassium and calcium concentration in barley under salt stress. *Plant and Soil*, v. 209, p. 217-224, 1999.
- MA, J. F; MIYAKE, Y; TAKAHASHI, E. Silicon as a beneficial element for crop plants. *Studies in Plant Science*, Amsterdam: Elsevier, n. 8, p. 17-39, 2001.
- MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. Editora Agronômica Ceres, São Paulo, 638p, 2006.
- MARCHIORI, L. F. S. Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, Piracicaba. 277p, 2004.
- MARQUES, M. O; MARQUES, T. A.; TASSO JÚNIOR, L. C. Tecnologia do açúcar: produção e industrialização da cana-de-açúcar. FUNEP, Jaboticabal, 166p, 2001.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London: 674p.1986.
- MATSUOKA, S.; ARIZONO, H.; MATSUDA, Y. Variedades de cana: minimizando os riscos da adoção. STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos. v. 17, n. 2, p. 18-19, 1999.
- MELO, F. A. D; FIGEIREDO, A. A; ALVES, M. C. P; FERREIRA, U. M. Parâmetros Tecnológicos da cana-de-açúcar em diferentes fundos agrícolas da região Norte do Estado do Pernambuco. In: Congresso Nacional da STAB, Piracicaba: p. 198-202. STAB, 1999.
- MELO, S, P. Silício e fósforo para estabelecimento do capim-Marandu num latossolo vermelho-amarelo. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, Piracicaba, 2005.
- MENGEL, K; KIRKBY, E. A. Principles of plant nutrition. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 849p, 2001.
- MENINO, M. R; CARRANCA, C; VARENNE, A; ALMEIDA, V. V; BAETA, J. Tree size and flowering intensity as affected by nitrogen fertilization in non-bearing Orange trees grown under Mediterranean conditions. *Journal Plant Physiology* v. 160. p. 1435-1440. 2003.
- NOVAIS, R. F; ALVAREZ, V. H; BARROS, N. F; FONTES, R. L. F; CANTARUTTI, R. B; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, editora: Universidade Federal de Viçosa - UFV, Viçosa, 1017p, 2007.
- OLIVEIRA, E. C. A. Dinâmica de nutrientes na cana-de-açúcar em sistema irrigado de produção. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, Recife, 84 p, 2008.
- PRADO, R. M. Manual de nutrição de plantas forrageiras. Jaboticabal, 413p. 2009.

PEREIRA, C. M; HANSEL, F. A; RADOMSKI, M. I; VERDECKIN, M. G. Microondas como alternativa na abertura de amostras para dosagem de silício em tecido foliar de espécies florestais por determinação colorimétrica. Pesquisa Florestal Brasileira, Colombo, n. 56, p. 105-109, 2008.

RAIJ, B. V; CANTARELLA, H; QUAGGIO, J. A; FURLANI, A. M. C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo, Boletim Técnico, 2ª edição, Instituto Agronômico, Campinas, n. 100, 285p, 1997.

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

SANCHES, A. B. Efeito do silicato de cálcio nos atributos químicos do solo e planta, produção e qualidade em capim-brachiarião [*Brachiaria brizantha* (hoeschst ex A. rich.) Stapf. Cv. Marandu] sob intensidades de pastejo. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos – Universidade de São Paulo - USP, Pirassununga, 140p, 2003.

SANTOS, J. M. Avaliação do florescimento de variedades de cana-de-açúcar na Serra do Ouro de 1998 a 2004, Monografia (Graduação). Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Maceió, 54p, 2005.

\_\_\_\_\_. Caracterização fisiológica e influencia da época de plantio no florescimento de cultivares de cana-de-açúcar. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Alagoas - UFAL, Maceió, 71p, 2007.

SCARPARI, M. S. Modelos para a previsão da produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) através de parâmetros climáticos. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz- ESALQ, Piracicaba, 79p, 2002.

SCHIMIDT, R. E; FORTES; M. A; SOUSA, R. O. Interação do ácido propiônico e cálcio em solução nutritiva na absorção de nutrientes em plantas de arroz. Disponível em: <[http://www.cnpaf.embrapa.br/publicacao/seriedocumentos/doc\\_196/trabalhos/CBC-TRAB\\_106-1.pdf](http://www.cnpaf.embrapa.br/publicacao/seriedocumentos/doc_196/trabalhos/CBC-TRAB_106-1.pdf)> Acesso em: março 2009.

\_\_\_\_\_; ZHANG, X; CHALMERS, D. R. Response of photosynthesis and superoxide dismutase to silica applied to creeping bentgrass grown under two fertility levels. Journal of Plant Nutrition, v. 22, p. 1763-1773, 1999.

SILVA, F. C. Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes. Embrapa, 2. ed., Brasília, 624p. 2009.

SILVA, P. P. Avaliação de quinze safras da usina triunfo e predição de produtividade em função da precipitação pluviométrica. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió, 52p, 2004.

STEFANUTO, V. A. Efeito do cálcio na homeostase de brotações de um clone de *Eucalyptus grandis* Hill (ex Maiden) sob condições de deficiência hídrica induzida in vitro. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ, Piracicaba, 65p, 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. Artmed, Porto Alegre, 4. ed., 820p, 2009.

TASSO JUNIOR, L. C; MARQUES, M. O; SILVA NETO, H. F. CAMILOTTI, F; BERNARDI, J. H; NOGUEIRA, T. A. R. Variação genotípica no florescimento, isoporização e características tecnológicas em seis cultivares de cana-de-açúcar. Revista de Biologia e Ciências da Terra. Jaboticabal, v. 9, n. 1, 2009.

THOMASHOW, M.F. Plant cold acclimation: freezing tolerance genes and regulatory mechanisms. Revista Plant Physiology. v. 50, p. 571-599, 1999.

TOWNSEND, C. R; Recomendações técnicas para o cultivo da cana-de-açúcar forrageira em Rondônia. Circular Técnica. Embrapa. n. 21, p. 5, 2000.

\_\_\_\_\_; COSTA, N, L; PEREIRA, R. G. A. Introdução e avaliação de variedades de cana-de-açúcar em Ouro Preto do Oeste-RO. Anais... II Seminário de Pesquisa e Extensão Rural – SEPEX. Universidade Federal de Rondônia – UFRO, 2008.

\_\_\_\_\_; COSTA, N, L; PEREIRA, R. G. A; NETTO, F. G. S. Introdução e avaliação de variedades de cana-de-açúcar em Ouro Preto do Oeste, Rondônia. Comunicado Técnico, Embrapa, Porto Velho, n. 211, 2002.

WALDHEIM, P. V; CARVALHO, V. S. B; CORREA, E; FRANCA, J. R. A. Zoneamento climático da cana-de-açúcar, da laranja e do algodão herbáceo para a região Nordeste do Brasil. Anuário do Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, v. 29, p. 3043, 2006.

WANG, D; XU, Y; LI, Q; HAO, X; CUI, K; SUN, F; ZHU, Y. Transgenic expression of a putative calcium transporter affects the time of *Arabidopsis* flowering. The Plant Journal, v. 33, p. 285-292, 2003.

WANG, S. Y; GALLETTA, G. J. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. Journal of Plant Nutrition, v. 21. p. 157-167, 1998.

YEE, D. A; TISSUE, D. T. Relationships between non-structural carbohydrate concentration and flowering in a subtropical Herb, *Heliconia caribae* (Heliconiaceae). Caribbean Journal of Science. v. 41. p. 243-249, 2005.

YMAIZUMI, T; KAY, S. A. Photoperiodic control of flowering: not only by coincidence. Trends in Plant Science, v. 11, n. 11 p. 550-558, 2006.

## APÊNDICES

**TABELA 1** – Características físicas do solo da Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro - EFCO – PMGCA/RIDES, Murici – Alagoas

Horizonte	Espessura (cm)	Descrição morfológica
Ap	0-15	Bruno-amarelado-escuro (10YR 4/4, úmida); argilo arenosa; franca média a pequena blocos sub-angulares; friável, ligeiramente plástico e pegajoso; transição ondulada e abrupta (10-18 cm).
BA	15-46	Amarelo-brunado (10YR 6/8, úmida); argila; moderada média blocos sub-angulares; duro; friável, plástico e pegajoso; transição ondulada e clara (40-52 cm).
BW <sub>1</sub>	46-70	Bruno forte (7,5YR 5/8, úmida); argila; moderada média a blocos sub-angulares; duro; friável, plástico e pegajoso; transição ondulada e abrupta (61-76 cm).
BW <sub>2</sub>	70-90	Vermelho amarelo (5YR 5/8, úmida); argila; moderada a grande blocos sub-angulares; duro; friável, plástico e pegajoso; transição ondulada e abrupta (90-91 cm).
BW <sub>3</sub>	90-112	Vermelho-amarelo (5YR 5/8, úmida) argila; moderada média a grande blocos sub-angulares; duro; friável, plástico e pegajoso; transição plana e clara (90-112 cm).
BW <sub>3</sub>	112-200 (+)	vermelho (2,5YR 4/8, úmida); argila; moderada média a frande blocos subangulares; duro; friável, plástico e pegajoso; transição plana e clara.

Análise realizada pelo Laboratório de Ciências do solo. CECA, UFAL.

**TABELA 2** – Características químicas do solo da Estação de Floração e Cruzamento Serra do Ouro EFCO – PMGCA/RIDES, Murici – Alagoas, entre as camadas de 0-20 e 20-40 cm de profundidade

Profundidade	pH H <sub>2</sub> O	P	K <sup>+</sup>	H+Al	Al <sup>3+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	CTC <sub>total</sub>	V	M	MO
cm		mg dm <sup>-3</sup>		Cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>					%		
0-20	6,5	16	96	4,4	0,03	2,6	1,4	8,65	49,1	0,7	1,77
20-40	6,1	15	39	2,6	0,25	1,8	0,8	7,3	37	1	1,12

Análise realizada pela Central Analítica Ltda, Maceió, AL.