

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**ALEX FAVARO NASCIMENTO**

**SILICATO DE CÁLCIO COMO INDUTOR DE  
TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS**

**São Mateus, ES  
Fevereiro de 2013**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA TROPICAL**

**SILICATO DE CÁLCIO COMO INDUTOR DE  
TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS**

**ALEX FAVARO NASCIMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires

**São Mateus, ES  
Fevereiro de 2013**

# SILICATO DE CÁLCIO COMO INDUTOR DE TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO EM PLANTAS

**ALEX FAVARO NASCIMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Espírito Santo, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Agricultura Tropical.

Aprovada: 28/02/2013

---

Dr. Marlon Dutra Degli Esposti  
Instituto de Pesquisa, Assistência  
Técnica e Extensão Rural – INCAPER

---

Prof. Dr. Ivoney Gontijo  
Universidade Federal do Espírito Santo

---

P Prof. Dr. Robson Bonomo  
Universidade Federal do Espírito Santo  
(Co-orientador)

---

Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires  
Universidade Federal do Espírito Santo  
(Orientador)

## **DEDICATÓRIA**

A todos aqueles que com esforço e dedicação fazem pesquisa.

A aqueles que com luta transmitem o conhecimento.

E aqueles que o utilizam para produzir.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar a oportunidade de participar do mestrado, e pela força, fé e conhecimento para superar todas as dificuldades encontradas até a conclusão.

A Regina e Aroaldo, meus pais, que me ensinaram a respeitar para ser respeitado, me mostraram o que é ter caráter e a ter humildade em tudo o que se faz. Tenho vocês como exemplos de vida.

A meu irmão, Raul, que sempre me acolheu e foi companheiro em todos os momentos que estava em São Mateus.

A Laura Cristina, que sempre me incentivou a continuar, a pensar que as coisas não eram tão complicadas, e principalmente, por suportar a distância.

Ao meu orientador na pós-graduação, Prof. Dr. Fábio Ribeiro Pires, que durante este período foi mais que professor, foi grande amigo, paciente, que ensinou e aconselhou, e o mais importante, confiou e acreditou na minha pessoa.

Ao Prof. Dr. Robson Bonomo, pela enorme ajuda durante a condução dos experimentos e por sempre estar disposto a uma boa conversa. O senhor é uma pessoa excepcional.

Ao Prof. Dr. Antelmo Ralph Falqueto, por empréstimo de tempo, paciência e equipamentos para o desenvolvimento das avaliações fisiológicas.

A Prof. Dr. Aristéa Alves Azevedo, da Universidade Federal de Viçosa, pela enorme ajuda e acolhida durante a realização das análises anatômicas.

Aos grandes amigos, Luis, Douglas e Bruno, que durante três anos estiveram dispostos a ajudar. Vocês foram essenciais para o desenvolvimento deste projeto. Sempre penso que não conseguiria se não fosse por vocês.

Aos amigos, Joel e Francisco, técnicos no LAGRO, que auxiliaram de maneira mais que prestativa durante a realização das mais diversas análises.

A Universidade Federal do Espírito Santo – Centro Universitário Norte do Espírito Santo, pela oportunidade de realização deste curso.

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), pelo auxílio financeiro durante o período de execução deste trabalho.

Ao Instituto de Defesa Agropecuário e Florestal do Espírito Santo (IDAF), pela liberação para realização deste curso.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho, agradeço.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>VII</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>VIII</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
<b>2. CAPÍTULOS.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1. Silicato de cálcio na indução de tolerância de plantas cultivadas sob déficit hídrico: avaliações fitotécnicas .....</b>	<b>6</b>
Resumo .....	6
Abstract .....	7
Introdução.....	8
Material e Métodos .....	9
Resultados e Discussão .....	<u>13</u>
Conclusões.....	<u>24</u>
Referências Bibliográficas .....	<u>24</u>
<b>2.2. Respostas fisiológicas de plantas conduzidas sob déficits hídricos e três corretivos de solo.....</b>	<b><u>28</u></b>
Resumo .....	<u>28</u>
Abstract .....	<u>29</u>
Introdução.....	<u>30</u>
Material e Métodos .....	<u>31</u>
Resultados e Discussão .....	<u>35</u>
Conclusões.....	<u>52</u>
Referências Bibliográficas .....	<u>53</u>
<b>2.3. Alterações anatômicas em café e braquiária em função do uso de corretivos e do déficit hídrico no solo .....</b>	<b><u>56</u></b>
Resumo .....	<u>56</u>
Abstract .....	<u>57</u>
Introdução.....	<u>58</u>
Material e Métodos .....	<u>59</u>
Resultados e Discussão .....	<u>63</u>

Conclusões.....	<a href="#">71</a>
Referências Bibliográficas .....	<a href="#">71</a>
<b>2.4. Atributos químicos do solo e nutrição de café conilon e braquiária em função do uso de corretivos e de déficit hídrico .....</b>	<b><a href="#">75</a></b>
Resumo .....	<a href="#">75</a>
Abstract .....	<a href="#">76</a>
Introdução.....	<a href="#">77</a>
Material e Métodos .....	<a href="#">78</a>
Resultados e Discussão .....	<a href="#">82</a>
Conclusões.....	<a href="#">97</a>
Referências Bibliográficas .....	<a href="#">97</a>
<b>3. CONCLUSÕES GERAIS .....</b>	<b><a href="#">102</a></b>
<b>4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b><a href="#">103</a></b>



## RESUMO

NASCIMENTO, Alex Favaro; M.Sc; Universidade Federal do Espírito Santo; Fevereiro de 2013; **Silicato de cálcio como indutor de tolerância ao déficit hídrico em plantas**. Orientador: Fabio Ribeiro Pires, Co-orientadores: Robson Bonomo, Antelmo Ralph Falqueto.

Dois grandes entraves limitam a produção de alimentos no Brasil e principalmente no Norte do Estado do Espírito Santo: a elevada acidez dos solos e os longos períodos de estiagem causando déficit hídrico. Algumas alternativas são utilizadas para contornar estes problemas, como a correção dos solos, no caso da acidez; e o melhoramento genético, práticas culturais respeitando o zoneamento agroclimatológico e a prática da irrigação, no caso do déficit hídrico. O silicato de cálcio como corretivo agrícola vem se tornando prática promissora principalmente devido ao baixo custo. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de incremento de tolerância à seca nas culturas do café conilon, do mamão e da braquiária, por meio da aplicação com silicato de cálcio. O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do CEUNES, em São Mateus-ES. Foram avaliadas isoladamente três culturas: café conilon, braquiária e mamão. Foi utilizado esquema fatorial simples 4x3, sendo 4 níveis de déficit hídrico e 3 níveis de corretivos agrícolas, em blocos casualizados, com 3 repetições. Foram realizadas avaliações fitotécnicas, fisiológicas, anatômicas e químicas de solo e planta. Para a cultura do café, observou-se uma tendência de aumento de altura das plantas com a utilização do silicato de cálcio, causando também redução das trocas gasosas destas plantas. As plantas de mamão sofreram drasticamente com os níveis de déficit hídrico observando-se redução nos valores de altura, diâmetro do colo e no índice de área foliar. Os corretivos agrícolas e os níveis de déficit hídrico interferiram com menor intensidade sobre a cultura da braquiária, sendo observadas diferenças estatísticas somente para o peso da matéria seca de folhas e para o peso da matéria seca de talos. O silicato de cálcio induz a tolerância à seca nas culturas estudadas, necessitando-se de mais estudos para concretização desta observação.

**Palavras-chave:** Agrosilício, *Coffea canephora*, *Brachiaria brizantha*, *Carica papaya*, escória de aciaria.

## ABSTRACT

NASCIMENTO, Alex Favaro; M.Sc; Federal University of Espírito Santo; February of 2013; **Calcium Silicate as tolerance inductor to the hydric deficit in plants**; Guider: Fabio Ribeiro Pires, Co-guider: Robson Bonomo, Antelmo Ralph Falqueto.

Two big hindrances that limit the production of foods in Brazil and mainly on the North Estate of Espírito Santo: the elevated acidity of the soil and the long periods of drought causing hydric deficit. Some alternatives are used to contour these problems, like the rectification of the soils, in the acidity case; and the genetic improvement, cultural practices respecting the agricultural climate zoning and the practice of irrigation, in the hydric deficit case. The calcium silicate as agricultural corrective is becoming the promising practice due specially to the low cost. Thus, the objective of this work was to evaluate the potential of development of tolerance to the drought in the cultures of conillon coffee, papaya and brachiaria, as the soil correction with calcium silicate. The experiment was conducted in casa-de-vegetação of CEUNES, in São Mateus-ES. There were evaluated, singly, three plants species: Conillon coffee, Brachiaria and papaya. It was used the simple factorial scheme 4x3, being 4 levels of hydric deficit and 3 levels of agricultural correctives, in randomized blocks, with three repetitions. There were accomplished agronomic assessments, physiological, anatomical and chemical of the soil and plant. To the coffee culture, a tendency is observed to the increase of plants' height with the usage of the calcium silicate, also causing reduction of the gaseous changes of these plants. Yet, the papaya plants drastically suffered with the levels of hydric deficit observing the reduction in the height values of the plants, diameter of the lap and IFA. The brachiaria didn't suffer a lot of interference of the correctives, neither from the levels of hydric deficit, being observed statistic differences only for MSF and MST. So, we can say that the calcium silicate conceivably causes tolerance to the drought in the studied cultures, needing more studies to the embodiment of this fact.

**Key words:** Agrosilício, *Coffea canephora*, *Brachiaria brizantha*, *Carica papaya*, Agriculture innovation.

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

A elevada acidez dos solos e o déficit hídrico são fatores a produção das diversas culturas em sistemas agropecuários, não só no estado do Espírito Santo, mas na maior parte do Brasil.

Os solos ácidos, comuns em regiões tropicais, limitam a produção agrícola. A aplicação de corretivos, prática consagrada para elevar o pH, teores de Ca e Mg e saturação por bases e reduzir Al e Mn trocáveis no solo, apesar de empregada, ainda não se constitui medida de uso generalizado entre os agropecuaristas. No caso da deficiência hídrica, o problema é maior, visto que o uso da irrigação apresenta custo elevado, além de ser limitada pela disponibilidade de água em algumas regiões. Além disso, a disponibilidade hídrica é essencial para se alcançar produções sustentáveis, pois, mesmo num solo corrigido e fertilizado, mas sem água, as plantas não conseguem se desenvolver adequadamente, sem a presença de água e, dependendo da espécie, as perdas podem ser totais.

O período de estiagem observado no estado do Espírito Santo, que coincide com parte do outono-inverno e início da primavera, tem sido mais intenso na região Norte do Estado, cuja duração dos períodos de déficit hídrico pode chegar a oito meses (CASTRO, 2008). Esse quadro intensifica os problemas observados em cultivos não irrigados, e pode ser claramente notado nas pastagens, principalmente naquelas que não recebem qualquer manejo de manutenção e, ou, renovação.

Algumas das principais culturas de interesse econômico para o Estado do Espírito Santo concentram-se na região norte, como o café conilon, a fruticultura (mamão, coco, goiaba, maracujá), a silvicultura (floresta plantada), as culturas condimentares (pimenta-do-reino, aroeira, pimenta da Jamaica e urucum), a macadâmia e a cana-de-açúcar, além das extensas áreas de pastagens, entre

outras. Os intensos e duradouros períodos de estiagem afetam consideravelmente e a produtividade dessas culturas, trazendo prejuízos elevados aos produtores rurais e ao Estado, que tem um terço do Produto Interno Bruto (PIB) advindos do agronegócio.

As alternativas empregadas para contornar os riscos de perdas com o déficit hídrico tem sido o melhoramento genético das espécies de interesse, buscando maior tolerância à seca; práticas culturais como o plantio em épocas e regiões mais favoráveis, respeitando-se o zoneamento edafoclimatológico para as espécies de interesse; além da própria irrigação. Dentre os estudos que buscam resultados para melhorar a eficiência da utilização da água por meio de irrigações somente quando a cultura realmente necessita se destacam aqueles feitos na região do Oriente Médio e Europa, trabalhando com olerícolas, como tomate, melão (FABEIRO et al., 2002), alho (FABEIRO et al., 2003) e batata (SHOCK & FEIBERT, 2002), até culturas anuais e energéticas, como soja (KARAM et al. 2005; BUSTOMI ROSADI et al., 2007), feijão (CALVACHE & REICHARDT, 1999), cana-de-açúcar (PENE & EDI, 1999), algodão (PRIETO & ANGUEIRA, 1999).

No Brasil, pesquisas vêm sendo feitas para tentar decifrar o índice de sensibilidade ao déficit hídrico (ARRUDA & GRANDE, 2003); para verificar a recuperação dos cafezais após período de déficit hídrico (FERNANDES et al, 2000); para sincronizar o desenvolvimento dos botões florais garantindo alta produtividade e qualidade do café (GUERRA et al., 2005; PINOTTI et al., 2009).

Além das pesquisas envolvendo café, existem também outras de grande importância, envolvendo outras culturas como, por exemplo, a utilização da irrigação em déficit para avaliação da produção de banana em Minas Gerais; sobre o estudo de características morfológicas de pimentão quando utilizado déficit de irrigação (KLAR & JADOSKI, 2002); para o estudo da lâmina ótima de irrigação para melancia, tendo a água como fator limitante (ANDRADE JUNIOR et al., 2001); e estudo de produtividade do milho sob emprego de irrigação em déficit (BERGAMASCHI et al., 2006).

Não obstante, uma promissora prática, de baixo custo, que pode contribuir para correção dos solos e a redução de efeitos do déficit hídrico, é o emprego do silício na agricultura, advindo principalmente de escórias de siderurgia.

Dentre os resíduos industriais com potencial de correção da acidez do solo, as escórias silicatadas são as mais estudadas e as que apresentam maior potencial

de uso em função da relativa abundância e necessidade de destinação adequada das mesmas. Além disso, a utilização de resíduos industriais na agricultura é uma importante ferramenta para conter desequilíbrios ecológicos causados por esses resíduos (PRADO & FERNANDES, 2001).

As escórias, além de serem corretivos da acidez do solo, também são fertilizantes, em virtude de apresentarem macronutrientes (cálcio e magnésio), micronutrientes (ferro, manganês, zinco, cobre e molibdênio) e o silício, sendo este considerado como um elemento benéfico para as plantas (KORNDÖRFER et al., 1999; PRADO et al., 2002), especialmente para gramíneas (arroz e cana-de-açúcar), quando estas submetidas a algum tipo de estresse, bióticos ou abióticos (TAKAHASHI, 1995; KORNDÖRFER et al., 1999; FARIA, 2000; DATNOFF et al., 2001).

As escórias silicatadas, apresentam algumas vantagens em relação aos calcários dolomíticos, como maior solubilidade em água e maior mobilidade no solo (SANTOS, 2009), sendo, por isso, indicadas para uso em culturas perenes; não promove a liberação de CO<sub>2</sub> (gás carbônico) para a atmosfera e fornece silício, elemento este relacionado ao aumento da produtividade de várias culturas em função de proporcionar maior resistência a doenças e pragas (DATNOFF et al., 1990, DATNOFF et al., 1991; OSUNA-CANIZALES et al., 1991; BARBOSA FILHO et al., 2000; BUSATO et al., 2002; GOUSSAIN et al., 2002; POZZA et al., 2004; MORAES et al., 2006).

Não obstante ao aspecto fitossanitário que justificaria o uso de fontes silicatadas no solo, algumas pesquisas, ainda incipientes, têm apontado para o efeito do elemento silício na redução dos efeitos do déficit hídrico em plantas cultivadas sob elevada disponibilidade desse elemento (AGARIE et al., 1998; FARIA, 2000; MA et al., 2001; MELO et al., 2003).

Pesquisas indicam que o papel desempenhado pelo silício nas plantas pode estar ligado a uma redução dos efeitos tóxicos do alumínio, do manganês e do ferro, e, além disso, no solo, o ânion silicato compete com o ânion fosfato pelos mesmos sítios de adsorção, o que resulta em liberação de fósforo para as plantas (PRADO & FERNANDES, 1999).

Os silicatos de cálcio e magnésio, principais constituintes das escórias silicatadas, vêm sendo cada vez mais utilizados com a finalidade de correção da

acidez do solo e também como fertilizante, inclusive já comercializados sob diversas marcas.

Apesar dos apontamentos sobre os efeitos benéficos do silício quanto à tolerância à seca, não existem pesquisas desenvolvidas no estado envolvendo sua principal cultura, o café conilon. Mesmo com os melhores resultados obtidos com gramíneas, algumas pesquisas realizadas com café arábica (POZZA et al., 2004) apontam de forma promissora para o uso dos silicatos para outras culturas. Pesquisas nesse sentido precisam ser conduzidas sob condições edafoclimáticas do Estado do Espírito Santo. Além disso, outra cultura de importância para o estado e para o país, como o mamão, também poderia ser beneficiado pelo fornecimento de silicatos, se comprovada a eficiência desses materiais em aumentar a tolerância à seca, possibilitando com isso, incremento substancial da produtividade.

A braquiária, para a qual já existem resultados consistentes, desperta interesse, já que não existem publicações relacionando esta espécie e o uso escória de siderurgia em solos capixabas. Além disso, seu estudo se justifica, pois, a maior parte do território do estado do Espírito Santo e, conseqüentemente, o seu solo, é coberto por pastagens, e essas, geralmente, apresentam-se degradadas. As pastagens bem estabelecidas e bem manejadas são consideradas práticas conservacionistas. Possibilitar que as gramíneas forrageiras que cobrem o solo formando as pastagens permaneçam por mais tempo em estágio vegetativo, com menos danos em decorrência do déficit hídrico, é uma alternativa que contribuiria duplamente para a sustentabilidade da atividade agropecuária: 1) por possibilitar oferta de forragem por maior período de tempo para o gado, com reflexos positivos no ganho de peso animal e menor custo com a complementação via silagem ou feno; 2) por possibilitar proteção ao solo por maior período de tempo, reduzindo a sua exposição. Portanto, no caso de pastagens, aplicando-se fontes silicatadas na correção do solo, além do benefício na disponibilidade de nutrientes, poder-se-ia obter vantagens com uma maior tolerância à seca em gramíneas forrageiras.

Diante do exposto, objetivou-se no presente estudo avaliar o potencial de incremento da tolerância à seca em culturas de interesse ao estado do Espírito Santo, como resultado da correção do solo com silicatos.

## 2. CAPÍTULOS

## 2.1. SILICATO DE CÁLCIO NA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA EM PLANTAS CULTIVADAS SOB DÉFICIT HÍDRICO: AVALIAÇÕES FITOTÉCNICAS

### Resumo

O Norte do estado do Espírito Santo apresenta altos índices de produção de culturas como as de café conilon e do mamoeiro e ainda apresenta grandes áreas de pastagem. O marcante período de seca afeta a região em determinado período do ano e vêm se mostrando cada vez mais intenso. Os solos capixabas, em sua maioria, são ácidos e distróficos, requerendo como requisito básico à produção, a aplicação de corretivos e fertilizantes. As escórias provenientes das siderúrgicas apresentam poder de neutralização da acidez além da geração de resistência a algumas injúrias em plantas. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar características fitotécnicas de plantas de café conilon, mamão e braquiária, cultivadas em solo corrigido com silicato de cálcio e calcário, sob diferentes níveis de déficit hídrico no solo. O experimento, conduzido em casa-de-vegetação, contou com três culturas, estudadas isoladamente: mamoeiro (*Carica papaya*, cv. Sunrise Golden); cafeeiro (*Coffea canephora*, cultivar Incaper Vitória 8142 clone 12); e braquiária (*Brachiaria brizantha*, cultivar MG-05 Xaráes), em esquema fatorial 3 x 4, sendo o primeiro fator 3 corretivos agrícolas (calcário, uma vez a dose recomendada; silicato de cálcio, uma vez a dose recomendada; e silicato de cálcio, três vezes a dose recomendada) e o segundo 4 níveis de déficit hídrico no solo (correspondente a um consumo de 10%, 30%, 50% e 70% da água disponível no solo), no delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. Foram realizadas avaliações de altura de plantas, da área foliar, do Índice de Área Foliar (IAF), da arquitetura do dossel, do número de folhas por planta; do diâmetro do caule, do peso de matéria fresca e seca de parte aérea após o corte ao final do experimento, além da altura do primeiro par de ramos plagiotrópicos para cultura do café conilon. As plantas de café apresentaram resultados promissores para utilização de silicato de cálcio como indutor de tolerância. As plantas de mamão foram afetadas pelos níveis de déficit hídrico e a cultura da braquiária confirmou que responde positivamente ao uso de silício.

**Palavras-chave:** *Coffea canephora*, *Brachiaria brizantha*, *Carica papaya*, silício, água no solo.



## 2.1. CALCIUM SILICATE IN THE INDUCTION OF TOLERANCE OF CULTIVATED PLANTS UNDER HYDRIC DEFICIT: AGRONOMIC AVALIATIONS

### Abstract

The North Region of the estate Espírito Santo presents high indices of production of cultures as conillon coffee and papaya tree and it even presents big areas of pasture. Of fundamental importance to agriculture, the marking period of dry, affect the region in determined period of the year and it has been manifested each time more intense. Capixaba's soil, mostly, are acidic and dystrophies, requiring as as a basic request to production, the application of correctives and fertilizers. The slags originated from steel mill present power of acidity neutralization beyond the generation of resistance to some injuries on plants. Thereby, this work had object to evaluate the agronomic characteristics of conilon coffee plants, papaya and brachiaria, cultivated in rectified soil with calcium silicate and calcareous, in different levels of hydric soil deficit. The experiment relied with three vegetable species, singly studied: *Carica papaya*, cultivate Sunrise Golden, *Coffea canephora*, cultivate Incaper Vitória 8142 clone 12 - conilon coffee; and *Brachiaria brizantha*, cultivate MG-05 Xaráes - brachiaria, in a simple factorial scheme 3 x 4, being three levels the agricultural rectified factor (calcareous, once the recommended dose ; calcium silicate, once the recommended dose; and calcium silicate three times the recommended dose) and four levels of the hydric deficit factor in the soil (correspondent of a consume of 10%, 30%, 50% and 70% of available water in the soil) in experimental delineation of randomized blocks, with three repetitions. There were evaluated the height of the plants, the frolic area, Leaf Area Index (LAI), dossal architecture, number of leaves per plant; the stem's diameter, fresh and dry matter of airbase after the final cut of the experiment, further the height of the first pair of plagiotropic branches to the culture of conillon coffee. So, the coffee plants present promising results to the utilization of calcium silicate as an inductor of tolerance. The papaya plants were affected by the level of hydric deficit. The culture of brachiaria confirmed that it's positively affected by the use of silicate.

**Key words:** *Coffea canephora*, *Brachiaria brizantha*, *Carica papaya*, silicon, soil water

## Introdução

O Norte do Estado do Espírito Santo apresenta como características mais marcantes na agropecuária os altos índices de produção de culturas como as de café conilon e do mamoeiro e ainda apresenta grandes áreas de pastagem. Outra característica de fundamental importância para agricultura é o marcante período de seca, principal fonte de risco climatológica para algumas culturas (PEZZOPANE et al., 2010), que afeta a região em determinado período do ano e que, atualmente, vêm se mostrando cada vez mais intenso.

Como alternativa para solução deste problema, a irrigação vem sendo utilizada indiscriminadamente, contestando os conceitos básicos para sua prática. Junto a esta tecnologia, outras são utilizadas para maximização da produção, como a correção e a adubação do solo.

Os solos capixabas, em sua maioria, são ácidos e distróficos, requerendo como requisito básico à produção, a aplicação de corretivos e fertilizantes.

Usualmente o produtor faz uso do calcário para correção da acidez do solo, neutralização do alumínio e disponibilização de cálcio e magnésio para as plantas. Com os mesmos princípios, além de apresentar maior solubilidade em água que o calcário (SANTOS, 2009), as escórias de siderurgia, que apresentam como constituintes os silicatos de cálcio, induzem a resistência a algumas injúrias em plantas (DATNOFF et al., 1990, DATNOFF et al., 1991; OSUNA-CANIZALES et al., 1991; BARBOSA FILHO et al., 2000; BUSATO et al., 2002; GOUSSAIN et al., 2002; POZZA et al., 2004).

As características fitotécnicas, aliadas à produção das culturas são utilizadas como inferências sobre o incremento da tolerância de plantas ao déficit hídrico decorrente de alguma técnica ou insumo empregado (MELO et al., 2003; PULZ et al., 2008; CRUSCIOL, 2009; SÁVIO et al., 2011; ZUBA JUNIO et al. 2011; MENEGALI, 2012;).

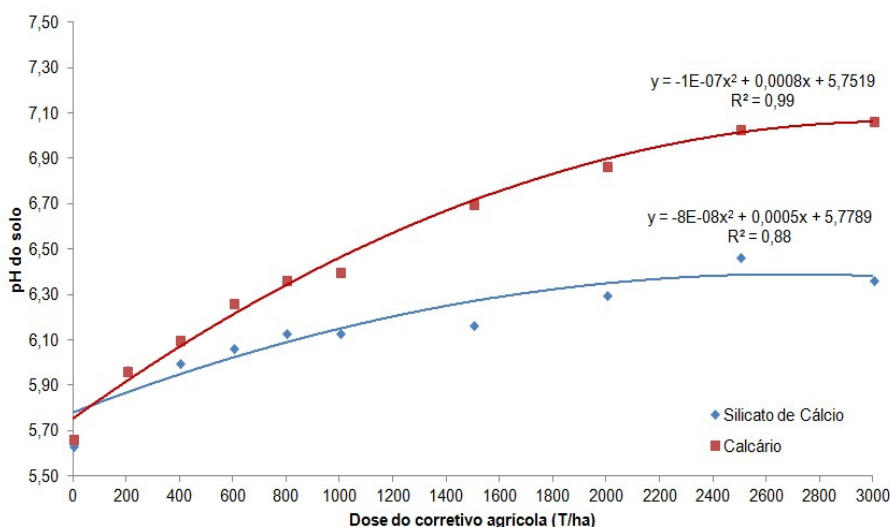
Dessa forma, objetivou-se no presente trabalho avaliar a influência de diferentes corretivos de solo e níveis de déficit hídrico no solo sobre as características fitotécnicas de plantas de café conilon, mamão e braquiária.

## Material e Métodos

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Centro Universitário Norte do Espírito Santo – CEUNES, da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, localizado no município de São Mateus, ES, com três culturas, estudadas isoladamente: mamão (*Carica papaya*, cv. Sunrise Golden), café conilon (*Coffea canephora*, cv. Incaper Vitória 8142 clone 12) e braquiária (*Brachiaria brizantha*, cv. MG-05 Xarões).

O experimento foi montado em esquema fatorial simples 3 x 4, sendo 3 níveis do fator corretivos agrícolas (calcário, uma vez a dose recomendada; silicato de cálcio, uma vez a dose recomendada; e silicato de cálcio, três vezes a dose recomendada) e 4 níveis do fator déficit hídrico do solo (correspondente a um consumo de 10%, 30%, 50% e 70% da água disponível no solo), em delineamento experimental de blocos casualizados, com três repetições.

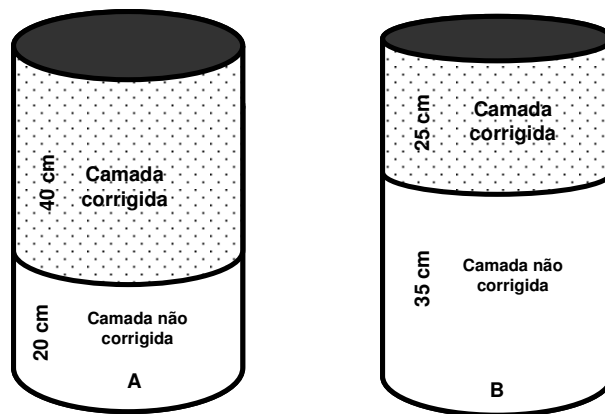
As doses dos corretivos agrícolas foram calculadas a partir das curvas de incubação do solo previamente estabelecidas para cada corretivo (Figura 1). Utilizando-se das equações geradas, empregou-se o uso do pH correspondente ao valor 6,0 para o cálculo das doses de calcário, silicato de cálcio e para o triplo da dose de silicato de cálcio, correspondendo a 325 kg ha<sup>-1</sup>, 480 kg ha<sup>-1</sup> e 1440 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para tais correções empregou-se o uso de calcário dolomítico com PRNT de 91,80% e PN de 98,88% e silicato de cálcio com PRNT de 72,30% e PN de 79,32%, que foram incorporados no solo com auxílio de uma betoneira.



**Figura 1.** Curva de incubação dos corretivos agrícolas no solo estudado.

As unidades experimentais empregadas foram vasos de polipropileno de aproximadamente 60 litros, com dimensões de 0,60 m de altura, 0,35 m de comprimento e 0,30 m de largura. Foi utilizado solo classificado como Argissolo Amarelo (EMBRAPA, 2006), de textura média (franco-arenoso), cujos teores de areia, silte e argila são respectivamente, 780 g kg<sup>-1</sup>, 20 g kg<sup>-1</sup> e 200 g kg<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 1997), coletado na camada de 0,0 a 0,20 m e peneirado em malha de 2,0 mm para utilização como substrato no plantio das culturas.

A correção do solo ocorreu da seguinte forma: para cultura do café conilon e do mamão o solo foi corrigido na camada superficial com profundidade de 0,40 m, tomando-se como base uma cova de plantio usual (0,40 m x 0,40 m x 0,40 m). Para a cultura da braquiária, a correção do solo foi realizada na profundidade de 0,25 m, baseando-se nas recomendações para essa cultura (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema de preenchimento das unidades experimentais (vasos) para café conilon e mamão (A) e para braquiária (B).

Após a correção do solo, o mesmo permaneceu incubado por 30 dias para o início da reação dos corretivos. Passado o período, foi realizada amostragem do solo em cada unidade experimental, para realização de análise química (EMBRAPA, 1997), obtendo-se 4 mg dm<sup>-3</sup> de P, 37 mg dm<sup>-3</sup> de K, 0,7 cmolc dm<sup>-3</sup> de Mg, 2 cmolc dm<sup>-3</sup> de Ca, 1,9 dag kg<sup>-1</sup> de MO, 3,1 cmolc dm<sup>-3</sup> de CTC efetiva e 60,9% de SB. De acordo com os resultados, foi realizada adubação de plantio para cada espécie. A cultura do café conilon recebeu 10 kg ha<sup>-1</sup> de N, 40 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 20 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O. Para a cultura do mamão foram aplicados 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, 375 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 170 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Enquanto que 90 kg ha<sup>-1</sup> de N, 445 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 85 kg ha<sup>-1</sup>

K<sub>2</sub>O foram às quantidades utilizadas para a cultura da braquiária (PREZOTTI et al., 2007).

Posteriormente à adubação foi realizado o transplântio das mudas de café conilon e mamão, que apresentavam aproximadamente 0,20 m, sendo uma muda de café por unidade experimental e três mudas de mamão por unidade experimental. Para a cultura da braquiária, foi realizada semeadura direta, distribuindo-se 0,1 gramas de semente por vaso, com valor cultural (VC) igual a 34. 30 dias após o transplântio das mudas de mamão e emergência das plantas de braquiária, foi realizado desbaste deixando-se, respectivamente, uma e duas plantas por recipiente.

Os níveis do fator déficit hídrico foram aplicados com as irrigações sendo executadas quando se atingia a umidade mínima estabelecida em função do déficit desejado. O valor da umidade mínima correspondente a cada nível de déficit foi determinado utilizando-se da curva de retenção de água no solo, ajustada pelo modelo de van Genuchten (1980) (Figura 3), determinada no laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Agrárias da UFES em Alegre, ES. Foram utilizados na experimentação como referências 10%, 30%, 50% e 70% da água disponível no solo, ou seja, a água retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, com valores de 16,56% (v/v) e 8,78% (v/v), respectivamente.

$$\theta = 0,035 + \frac{(0,035 - 0,21)}{(1 + (0,9894 \cdot \psi)^{2,7527})^{0,0596}}$$

**Figura 3.** Curva de retenção de água no solo ajustada pelo modelo de van Genuchten (1980).

Durante 180 dias foi realizado acompanhamento diário da umidade do solo, iniciados 30 dias após o plantio das espécies, nas camadas de 0,0 a 0,20 m e 0,21 a 0,40 m. Para isso, o monitoramento foi realizado por meio de sensor com princípio de TDR (modelo Trime-BT da IMKO) e previamente calibrado para o solo do experimento, inserido em tubo de acesso até a profundidade mediana dos vasos. Para leituras dados de umidade, foi utilizado o programa Pico-Talk, Versão 1.04 (IMKO), instalado em palmtop modelo RPDA 626 (ASUS) (Figura 4).



**Figura 4.** Coleta de dados de umidade do solo (A) e aparelhos utilizados para verificação de umidade do solo (B).

Durante todo o tempo de experimentação os tratamentos fitossanitários e adubações de manutenção das culturas seguiram recomendação para o estado do Espírito Santo.

Aos 60 e 180 dias após a aplicação dos tratamentos foram realizadas avaliações fitotécnicas de acordo com as características de cada espécie. Para o café conilon foram realizadas avaliações de altura de plantas, medindo-se do coleto até o meristema apical com maior altura visual; altura do primeiro par de ramos plagiotrópicos; área foliar, utilizando-se método não destrutivo, através de medidor de área foliar portátil (*Portable Laser Area Meter*, modelo CI-203); Índice de Área Foliar (IAF), considerando-se somente a área foliar; arquitetura do dossel, determinada por meio da equação de circunferência, considerando-se o diâmetro médio do dossel; número de folhas por planta; diâmetro do caule, tomando-se como base a altura de 0,20 m a partir da base da planta; peso de matéria fresca e seca de parte aérea ao final do experimento, por meio de secagem em estufa de circulação forçada de ar, a 65 °C, até peso constante.

Para a cultura do mamoeiro as avaliações foram as seguintes: altura de plantas; área do dossel; Índice de Área Foliar (IAF), considerando-se somente a área foliar; número de folhas e diâmetro do caule, todas com o mesmo procedimento realizado para a cultura do café conilon.

Para a cultura da braquiária, avaliou-se altura de plantas, número de folhas por planta, número de perfilhos por planta, Índice de Área Foliar (IAF), considerando-se somente a área foliar, matéria fresca e seca de talos e folhas, do primeiro e do último corte, a aproximadamente 0,25 m de altura do solo (correspondendo à saída de pastoreio do gado em condições normais de campo), realizados aos 60 e 180 dias, respectivamente, após aplicação dos déficits hídricos.

Os dados foram submetidos às análises de variância, usando os níveis de significância de 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, e análise de regressão. As médias dos efeitos dos corretivos agrícolas foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para os níveis de déficit hídrico no solo, os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste 't' e adotando o nível de 5% de probabilidade, bem como no coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e no fenômeno biológico.

## **Resultados e Discussão**

### **Cultura do café conilon**

O número de folhas, a área do dossel, o diâmetro do caule e o índice de área foliar não apresentaram diferença estatística aos 60 dias após o início da aplicação dos tratamentos. Altura de plantas e altura do primeiro par de ramos plagiotrópicos exibiram diferença estatística na interação entre os corretivos agrícolas e os níveis de déficit hídrico aplicados ao solo.

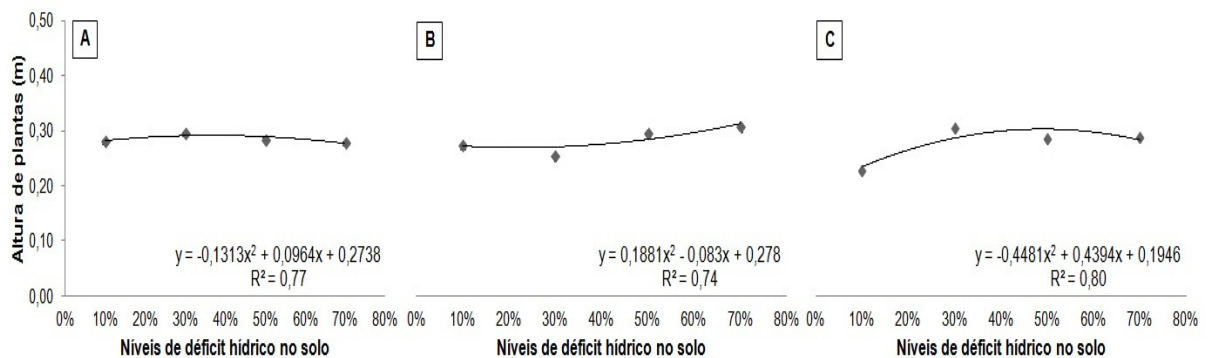
Para altura de plantas foi observada diferença estatística em relação aos corretivos de solo, sendo as plantas cultivadas no tratamento de três vezes a dose de silicato de cálcio e em 10% de déficit hídrico no solo, as plantas com maiores alturas. Quando observados os demais níveis de déficit hídrico não foi observada diferença estatística para altura de plantas (Tabela 1). Quando analisados os níveis de déficit hídrico de forma distinta dentro de cada fator corretivo agrícola, observou-se tendência quadrática para calcário e três vezes silicato de cálcio, apresentando ponto de máxima altura a 36,7% e 49% de deficiência hídrica, respectivamente. Todavia, o efeito silicato de cálcio apresentou modelo diferente dos demais corretivos, resultando em plantas maiores, de acordo com a redução da disponibilidade de água no solo (Figura 3).

Resultados diferentes para altura de plantas de café conilon foram observados por Dardengo (2006), quando trabalhou com crescimento inicial de café, sob déficit hídrico, em dois tipos de solo, observando que sob níveis de déficit hídrico reduzido as plantas obtiveram crescimento normal e com o aumento da deficiência hídrica, as plantas de café apresentavam alturas inferiores. Além, Dardengo (2006) também observou influência negativa dos déficits hídricos sobre características como diâmetro do caule e área foliar, diferente do ocorrido neste estudo.

**Tabela 1.** Altura de plantas de *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, aos 60 dias, em função de corretivos de solo e de níveis de déficit hídrico

Altura de plantas (m)				
Corretivos Agrícolas	Níveis de Déficit Hídrico no Solo			
	10%	30%	50%	70%
Calcário	0,23 b	0,30 a	0,28 a	0,29 a
Silicato de Cálcio	0,27 ab	0,26 a	0,29 a	0,31 a
3x Silicato de Cálcio	0,28 a	0,29 a	0,28 a	0,28 a
CV (%)	12,45			

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 3.** Altura de plantas de *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, aos 60 dias, em função de níveis de déficit hídrico no solo. A, B e C correspondem, respectivamente a calcário, silicato de cálcio e três vezes silicato de cálcio.

Com relação ao efeito dos corretivos agrícolas, observou-se que a altura do primeiro par de ramos plagiotrópicos, no déficit hídrico de 10%, foi afetada negativamente quando utilizados os corretivos silicatados, e apresentou melhores

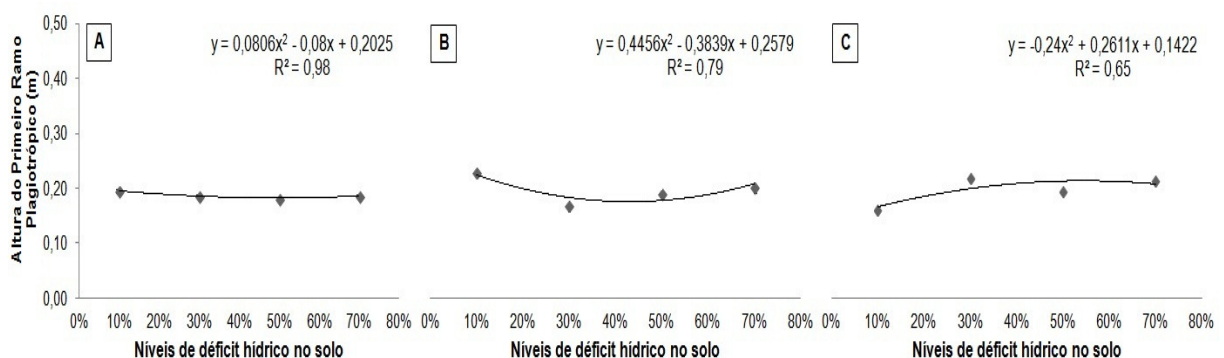


resultados com aplicação de silicato de cálcio, no déficit hídrico de 30%. Contudo, quando observados os maiores intervalos de irrigação (déficits hídricos de 50% e 70%), não foi constatada diferença estatística entre os corretivos de solo (Tabela 2). Em relação ao efeito dos corretivos de solo sobre os déficits hídricos aplicados, pode-se constatar que quando aplicado três vezes a dose de silicato de cálcio no solo ocorre aumento da altura e posterior decréscimo. Já calcário e silicato de cálcio exibiram semelhança nas curvas, apresentando alturas mínimas do primeiro par de ramos plagiotrópicos com 49,6% e 43% de déficit hídrico no solo, respectivamente, (Figura 4).

**Tabela 2.** Altura do primeiro par de ramos plagiotrópicos de *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, aos 60 dias, em função de corretivos de solo e de níveis de déficit hídrico

Altura do primeiro par de ramos plagiotrópicos (m)				
Corretivos Agrícolas	Níveis de Déficit Hídrico no Solo			
	10%	30%	50%	70%
Calcário	0,16 b	0,22 a	0,19 a	0,21 a
Silicato de Cálcio	0,23 a	0,17 b	0,19 a	0,20 a
3x Silicato de Cálcio	0,19 ab	0,19 ab	0,18 a	0,18 a
CV (%)	16,53			

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



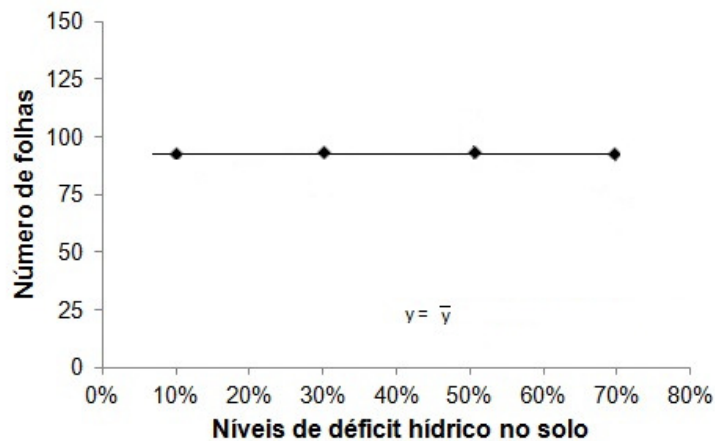
**Figura 4.** Altura do primeiro ramo plagiotrópico em plantas de *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, aos 60 dias, em função de níveis de déficit hídrico no solo. A, B e C correspondem, respectivamente a calcário, silicato de cálcio e três vezes silicato de cálcio.

Considerando os resultados obtidos, pode-se deduzir que, para a avaliação realizada aos 60 dias, possivelmente as plantas foram afetadas negativamente sob os níveis máximos de deficiência hídrica no solo. Já para os menores períodos de irrigação (menores déficits), os corretivos agrícolas, principalmente os silicatados, exerceram efeito ao amenizar o déficit de água, talvez pela maior disponibilização de nutrientes ocorrida devido à correção do solo mais eficiente destes corretivos (RAMOS et al., 2006).

Vale ressaltar que plantas de café conilon com maior desenvolvimento vertical, logo após seu plantio, são desejáveis pelo produtor. Entretanto, a altura do primeiro par de ramos plagiotrópicos é de fundamental importância para a futura produção, visto que plantas que apresentem maior inserção destes ramos em relação ao nível do solo, possivelmente exibirão menor quantidade de ramos ao longo do resto da planta. Dessa forma, nota-se que, utilizando uma relação entre a altura do par de ramos plagiotrópicos e a altura total da planta, as plantas onde se realizou correção do solo com três vezes a dose de silicato de cálcio tendem a ter menos espaço para crescimento dos demais ramos plagiotrópicos, pois a altura do primeiro ramo plagiotrópico ocorre a 71,05% da altura total da planta. Já para silicato de cálcio e calcário, esta relação se dá entre 65% e 69%, respectivamente. Da mesma forma, utilizando esta relação para comparar os déficits hídricos, temos que, com o aumento do período de irrigação, observou-se decréscimo da relação.

Na avaliação realizada aos 180 dias, nota-se que altura de plantas, altura do primeiro par de ramos plagiotrópicos, diâmetro do caule, índice de área foliar e o diâmetro do dossel, não apresentaram diferença estatística para os tratamentos estudados. Por outro lado, a análise de variância mostrou interação entre os corretivos de solo e os déficits hídricos apresentando diferença estatística para matéria seca de folhas (Tabela 3); o número de folhas do cafeeiro também foi influenciado pelos níveis de déficit hídrico.

O número de folhas do cafeeiro, aos 180 dias, aparentemente apresentou influência somente dos níveis de déficit hídrico aplicados no solo, de forma que foi observado aumento na quantidade de folhas mesmo com o incremento do déficit hídrico até 38,44% de escassez de água. Após este ponto, nota-se queda gradual no número de folhas, chegando este, aos mesmos valores encontrados para 10% de deficiência hídrica (Figura 5).



**Figura 5.** Número de folhas de *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, aos 180 dias, em função de níveis de déficit hídrico no solo.

Aos 180 dias, matéria seca de folhas de café conilon, quando observado o efeito dos corretivos agrícolas, apresentou maiores valores quando utilizado calcário e silicato de cálcio, iguais estatisticamente, para os déficits hídricos de 10% e 50%. Este resultado se altera, quando as plantas foram cultivadas sob deficiência hídrica de 70%, em que os maiores valores de matéria seca foram observados para as doses de silicato de cálcio (Tabela 3).

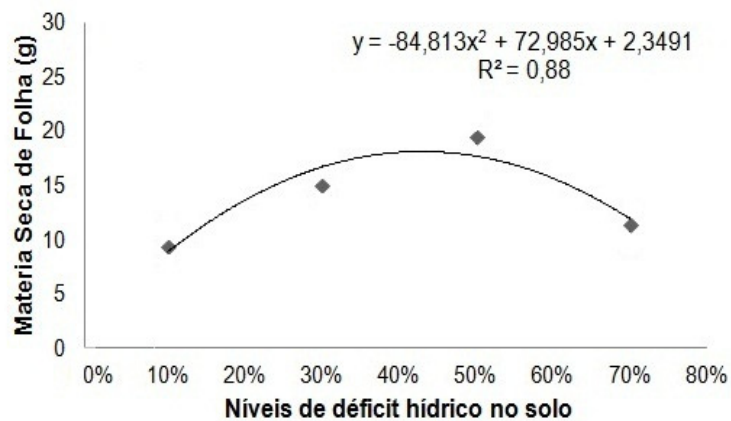
A Figura 6 mostra o efeito dos níveis de deficiência hídrica para o uso de silicato de cálcio, que proporcionou acréscimo no peso seco das folhas de café conilon até 43,02% de consumo da água disponível no solo, com posterior queda dos valores até o nível de 70%. Calcário e três vezes a dose de silicato de cálcio apresentaram, em média, 11,42 g e 8,89 g, respectivamente.

Pereira (2007) afirma que as diferentes relações de calcário/silicato de cálcio não influenciaram a altura das plantas, o número de ramos e nem o número de folhas do cafeeiro, porém o acúmulo de massa seca foi maior onde o tratamento era todo com silicato.

**Tabela 3.** Matéria seca de folhas de *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, aos 180 dias, em função de corretivos de solo e de níveis de déficit hídrico

Matéria Seca de Folhas (g)				
Corretivos Agrícolas	Níveis de Déficit Hídrico no Solo			
	10%	30%	50%	70%
Calcário	18,06 a	9,08 a	17,23 ab	1,32 b
Silicato de Cálcio	10,72 ab	14,90 a	19,34 a	11,31 a
3x Silicato de Cálcio	9,38 b	7,43 a	9,69 b	9,05 ab
CV (%)	33,65			

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 6.** Matéria seca de folhas de *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, aos 180 dias, em função de correção do solo com silicato de cálcio e níveis de déficit hídrico no solo.

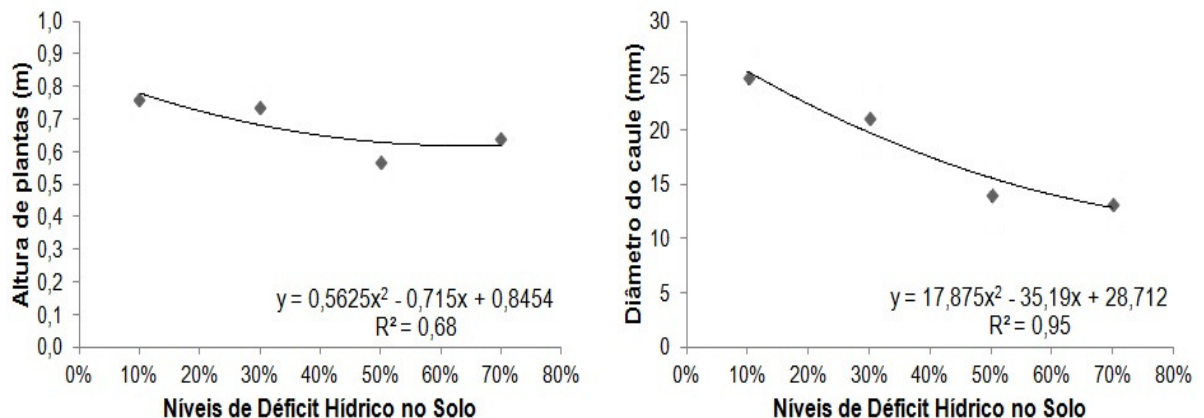
Pode-se dizer, observando os resultados para avaliação realizada aos 180 dias, que as plantas de café conilon que apresentavam menores alturas e diferença entre a inserção do par de ramos plagiotrópicos na avaliação realizada aos 60 dias, se recuperaram com o passar do tempo. Aparentemente, o maior tempo sobre influência dos níveis de déficit hídrico proporcionou às plantas cultivadas com corretivos silicatados, melhor resposta à presença destes corretivos. Isso se comprova devido ao acréscimo de matéria seca nas folhas, possivelmente não proporcionado pelo aumento médio das folhas de café conilon, visto que o índice de área foliar não apresentou diferença significativa, mas sim pelo espessamento das folhas, devido ao provável aumento da parede celular e, conseqüentemente, do conteúdo celular destas células.

## Cultura do mamão

A cultura do mamoeiro, aos 60 dias, apresentou diferenças significativas em todas as variáveis analisadas, somente para os níveis de déficit hídrico no solo. Estatisticamente, o efeito dos corretivos agrícolas não apresentou qualquer interferência sobre as características fitotécnicas avaliadas.

Com o aumento progressivo dos níveis de déficit hídrico nota-se que as plantas de mamão tiveram seu crescimento prejudicado, assim como ocorreu para a expansão do caule (Figura 7).

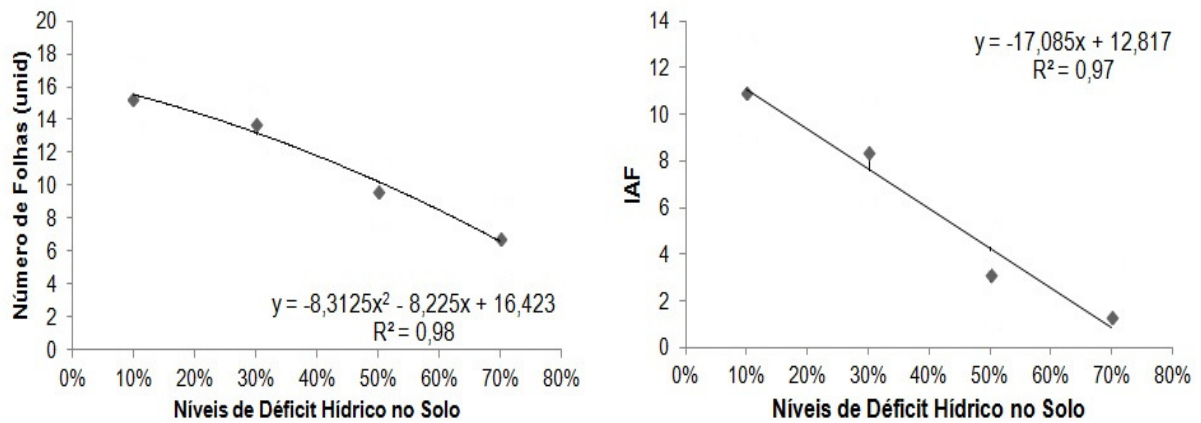
Espindula Neto (2007) observou que o mamoeiro apresenta crescimento retardado quando disponibilizada menores lâminas de água. Menores valores de diâmetro do caule foram encontrados por Silva (1999) e por Almeida (2000), quando aplicado ao solo água em quantidade inferior à demanda pela cultura, principalmente nos primeiros meses de desenvolvimento, semelhante à condição imposta avaliada no presente trabalho.



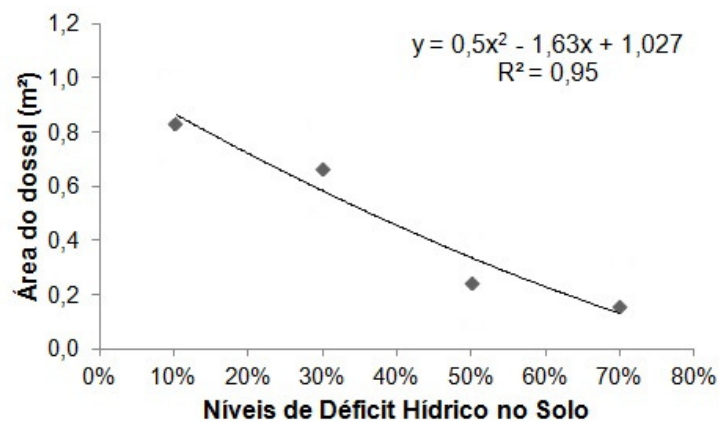
**Figura 7.** Altura de plantas e diâmetro do caule de *Carica papaya* cv. Sunrise Golden, aos 60 dias, em função de níveis de déficit hídrico no solo.

Semelhante às variáveis anteriores, número de folhas, índice de área foliar e área do dossel apresentaram queda significativa dos seus valores com o aumento da deficiência hídrica no solo (Figuras 8 e 9). Durante a condução do experimento, notou-se a redução do número de folhas para as plantas onde as irrigações eram mais espaçadas. Outro ponto importante é a área destas folhas, que para os déficits maiores eram muito reduzidas, influenciando assim o índice de área foliar e a área do dossel. Possivelmente as plantas que estavam sob regime de deficiência hídrica

apresentaram estas reduções na tentativa de minimizar a transpiração, mantendo assim, uma reduzida quantidade de água em suas células, suficiente para manutenção de alguns processos fisiológicos.



**Figura 8.** Número de folhas e Índice de Área Foliar (IAF) de *Carica papaya* cv. Sunrise Golden, aos 60 dias, em função de níveis de déficit hídrico no solo.

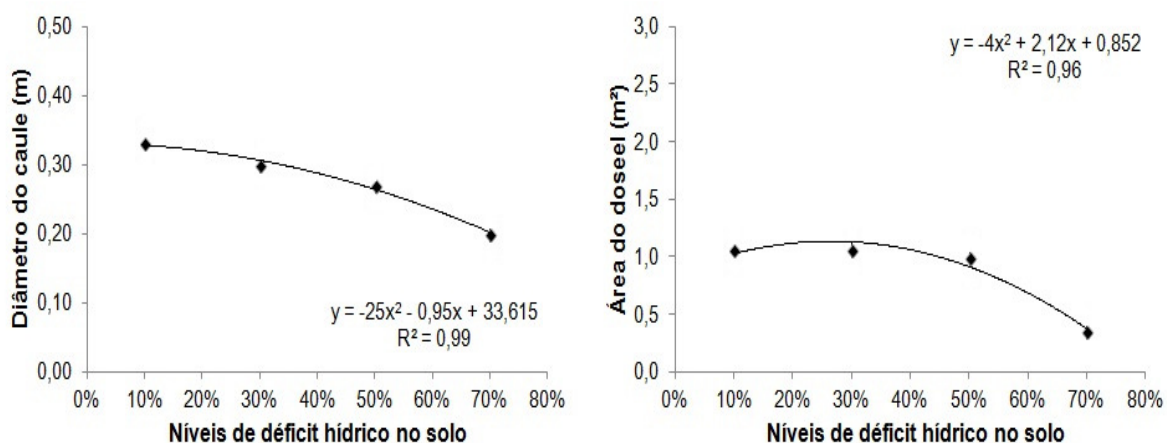


**Figura 9.** Área do dossel de *Carica papaya* cv. Sunrise Golden, aos 60 dias, em função de níveis de déficit hídrico no solo.

Mantendo os mesmos resultados encontrados na avaliação realizada aos 60 dias, a avaliação realizada aos 180 dias apresentou diferença estatística somente para os efeitos dos déficits hídricos, sendo os resultados para os corretivos agrícola irrelevantes.

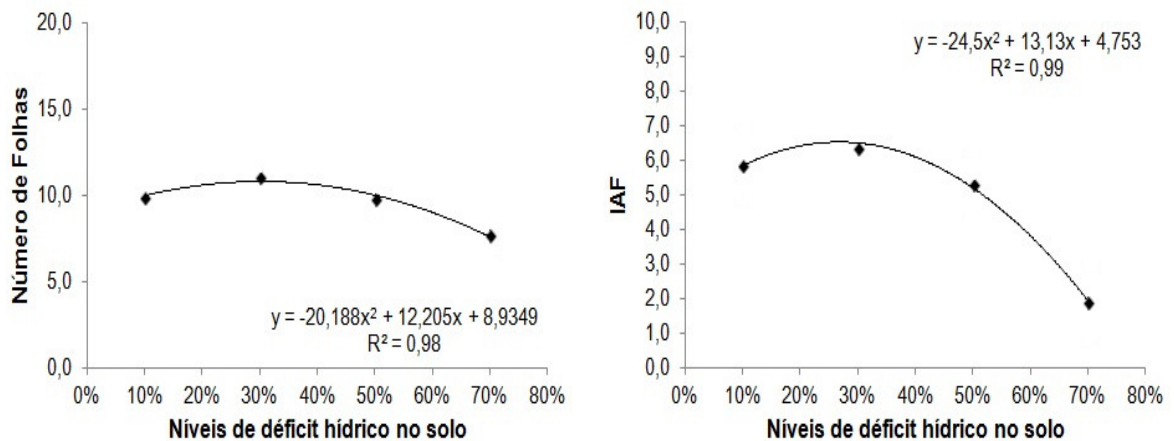
Notadamente, as plantas continuaram seu desenvolvimento natural apesar da quantidade escassa de água no solo nos tratamentos com maiores níveis de déficit hídrico. Diâmetro do caule manteve a tendência à redução com o avanço dos

níveis de déficit de água (Figura 10). A área do dossel exibiu mudança na conformação da sua curva, passando a apresentar, próximo ao déficit de 30%, um ponto de máxima (Figura 10). Possivelmente, isto tenha ocorrido, pois nesta faixa ocorrem melhores condições para o sistema radicular do mamoeiro, visto que esta espécie é muito exigente, dependendo de irrigação corretamente manejada. A umidade do solo, mesmo que sob déficit hídrico, pode afetar negativamente a estrutura radicular, proporcionando o apodrecimento da mesma, assim como a escassez interfere no desenvolvimento da planta, pois retarda os mecanismos fisiológicos.



**Figura 10.** Diâmetro do caule e área do dossel de *Carica papaya* cv. Sunrise Golden, aos 180 dias, em função de níveis de déficit hídrico no solo.

Da mesma forma com o ocorrido na primeira avaliação, o número de folhas e o índice de área foliar apresentaram menores valores quando cultivadas sob níveis extremos de deficiência hídrica (Figura 11). Nota-se que existe uma diferença entre os valores do número de folhas aos 60 dias e aos 180 dias, sendo que houve decréscimo de folhas com o passar do tempo. Desta forma, pode-se dizer que do desenvolvimento do mamoeiro sob déficit hídrico prejudicou o crescimento normal destas plantas. O déficit hídrico acentuado ocasiona atraso do desenvolvimento do mamoeiro, reduzindo a taxa de crescimento do caule e das folhas, podendo provocar também queda das flores e produção de flores estéreis (BERNARDO et al., 1996; COELHO et al., 1999).

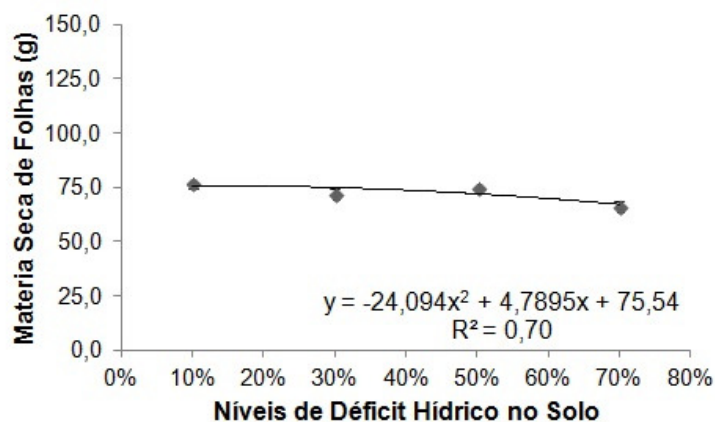


**Figura 11.** Número de folhas e IAF de *Carica papaya* cv. Sunrise Golden, aos 180 dias, em função de níveis de déficit hídrico no solo.

### Cultura da braquiária

Com relação à braquiária apenas a matéria seca de folhas e de talos, aos 60 dias de condução das plantas, diferiu entre os níveis de déficit hídrico. As demais características estudadas não se diferenciaram estatisticamente. Também é de fundamental importância ressaltar que nenhum dos dados analisados sofreu influência da aplicação dos diferentes corretivos de solo.

Aos 60 dias, matéria seca de folhas apresentou pequena redução em função da diminuição de disponibilidade de água no solo (Figura 12). Para matéria seca de talos, podemos observar que, em média, os resultados para déficit hídrico, aos 60 dias, foram de 99,89 g.



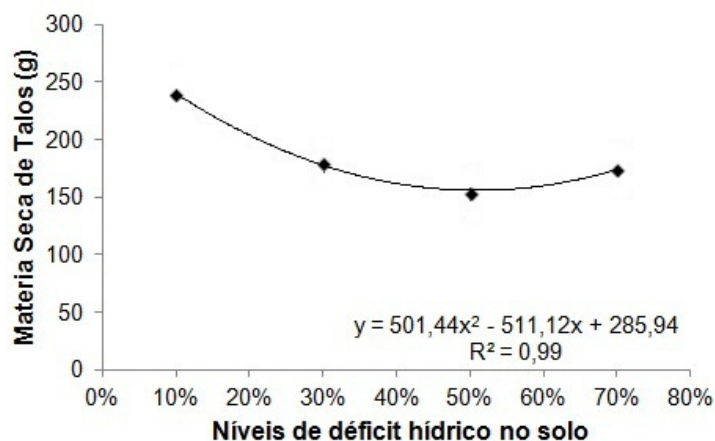
**Figura 12.** Matéria seca de folhas de *Brachiaria brizantha* cv. Xarões, aos 60 dias, em função de níveis de déficit hídrico no solo.



Diferente dos resultados obtidos no presente trabalho, Castro (2009), observou que a matéria seca das plantas de braquiária cultivadas em solo corrigido com silicato apresentou menores quantidades de matéria seca total do que aquele que recebeu calcário. Também com resultados contrários ao do presente trabalho, Rocha et al. (2011) observaram aumento significativo na altura de plantas de sorgo quando acrescidas as doses de silício no solo.

Considerando os dados, pode-se dizer que, em geral, as plantas de braquiária sofreram ação do déficit hídrico empregado no solo, de forma que, houve maior produção de talos do que de folhas. Isso nos remete à redução da área foliar das plantas, com conseqüente diminuição de perdas d'água por transpiração.

A mesma tendência foi observada para as avaliações realizadas aos 180 dias, em que somente matéria seca de talos apresentou diferença estatística para os níveis de deficiência hídrica. Novamente, a utilização de silício como corretivo de solo não afetou os atributos analisados. A Figura 13 mostra a resposta da cultivar Xaráes aos diferentes períodos de irrigação estipulados. Nota-se diminuição dos valores entre os pontos de 30% e 50%. Possivelmente, estes resultados ocorreram, pois a planta, entre os déficits de 30%, 50% e 70%, não se desenvolveu normalmente, reduzindo sua produção de biomassa. Quando utilizado 10% de deficiência hídrica, houve maior produção de talos, já que a planta apresentava condições mínimas de desenvolvimento, voltando este para produção de talos e não de folhas, como reação ao aumento na transpiração e posteriores perdas de água.



**Figura 13.** Matéria seca de talos de *Brachiaria brizantha* cv. Xaráes, aos 180 dias, em função de níveis de déficit hídrico no solo.

Para ambos os períodos avaliados a cultura da braquiária mostrou dificuldade para produção quando estas plantas foram cultivadas sob déficit hídrico. A produção de biomassa e folhas, é de fundamental importância no emprego desta cultivar, e a produção excessiva de talos caracteriza um indesejável desvio de seu desenvolvimento considerado normal.

Outro ponto importante a ser levantado é que para o estudo estabelecido os corretivos silicatados não apresentaram influência sobre as características analisadas. Porém, outros estudos mostram as vantagens de utilização destes corretivos para as pastagens, de forma a propiciar, por exemplo, maior tolerância a pragas e doenças (BERTALOT et al., 2012; SORATTO et al., 2012; LIMA et al., 2010; FREITAS et al., 2012; PEREIRA et al., 2009; VICENTINI et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2012) .

## **Conclusões**

1. As plantas de café conilon foram afetadas de forma positiva pelos corretivos silicatados sob deficiência hídrica.
2. Os corretivos de solo não afetaram o desenvolvimento das plantas de mamão e de braquiária. Não houve diferença entre sua utilização ou não, em relação à presença de menor quantidade de água no solo.
3. A braquiária sofreu interferência dos níveis de deficiência hídrica no solo, porém, em níveis menos expressivos que café e mamão.
- 4.

## **Referências Bibliográficas**

ALMEIDA, F.T. **Resposta do mamoeiro (*Carica papaya* L.) “do grupo solo” a diferentes lâminas de irrigação no Norte Fluminense**. Tese de doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense – UENF, Campos dos Goytacazes,,2000.

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; PRABHU, A.S.; DATNOFF, L.E.; KORNDÖRFER, G.H. **Importância do silício para a cultura do arroz (Uma revisão de literatura) Informações Agronômicas**. 2000. n.89, p.1-8.

BERNARDO, S.; CARVALHO, J.A.; SOUSA, E.F. **Irrigação do mamoeiro**. Campos dos Goytacazes: UENF, 1996. 20p.

BERTALOT, M.J.A.; CARVALHO-PUPATTO, J.G.; FURTADO, E.L.; MENDONZA, E. MENDES, R.D.; BUSO, D.R. Controle alternativo de *Mycosphaerella fragariae* na cultura de morango orgânico (*Fragaria vesca*). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v.7, p.170-177, 2012.

BUSATO, G.R.; GRÜTZMACHER, A.D.; GARCIA, M.S.; GILO, F.P.; MARTINS, A.F. Consumo e utilização de alimento por *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidade) originária de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, das culturas do milho e do arroz irrigado. **Neotropical Entomology**, v.31, p.110-118, 2002.

CASTRO, G.S.A. **Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário**. Dissertação de mestrado. Universidade Estadual de São Paulo – UNESP, Botucatu, 2009.

Coelho, E.F.; Silva, J.G.F.; SOUZA, L.F.S. Irrigação e fertirrigação. In: SANCHES, N.F., DANTAS, J.L.L. (coords.) **O cultivo do mamão**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 1999. cap.7, p.32-41.

CRUSCIOL C.A.C. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science**, v.49, p.949-954, 2009.

DATNOFF, L.E., RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, v.75, p.729-732, 1991.

DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Evaluation of calcium silicate slag and nitrogen on brown spot, neck rot, and sheath blight development on rice. **Biological and Cultural Tests for Control of Plant Diseases**, v.5, p.65, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2.ed. Brasília, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documento, 1).

ESPINDULA NETO, D. **Resposta do mamoeiro a diferentes lâminas de irrigação, sistemas de microirrigação e manejo do solo utilizados na Região Norte do Espírito Santo**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, 2007.

EUCLYDES, R.F. **SAEG (Sistema para análise estatística e genética) Manual de utilização do programa SAEG**. Viçosa: UFV, 2005.

FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A. de; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; MUNER, L.H.D. **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007. 702p.

FREITAS, L.M.; JUNQUEIRA, A.M.R.; MICHEREFF FILHO, M. Potencial de uso do silício no manejo integrado da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella*, em plantas de repolho. **Revista Caatinga**, v.25, p.8-13, 2012.

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N.L.; ROSSI, M.L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v.31, p.305-310, 2002.

LIMA, L.M. de; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; FONSECA, T.A.P.S.; CARVALHO, J.G. Quantificação de ferrugem asiática e aspectos nutricionais de soja suprida com silício em solução nutritiva. **Summa Phytopathol**, v.36, p.51-56, 2010.

MELO, S.P.; KORNDÖRFER, G.H.; KORNDÖRFER, C.M.; LANA, R.M.Q.; SANTANA, D.G. de. Silicon accumulation and water deficit tolerance in *Brachiaria* grasses. **Scientia Agricola**, v.60, p.755-759, 2003.

MENEGALI, M.L. de C. **Resposta de plantas de cobertura a doses de silício e estresse hídrico**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 88 p., 2012.

OLIVEIRA, R.M.; RIBEIRO, R.C.F.; XAVIER, A.A.; PIMENTA, L.; KORNDÖRFER, G.H. Efeito do silicato de cálcio e magnésio sobre a reprodução de *Meloidogyne javanica* e desenvolvimento de mudas de bananeira prata-anã. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.34, p.409-415, 2012.

OSUNA-CANIZALES, F.J.; DEDATTA, S.K.; BONMAN, J.M. Nitrogen form and silicon nutrition effects on resistance to blast disease of rice. **Plant and Soil**, v.135, p.223-231, 1991.

PEREIRA, S.C.; RODRIGUES, F.A.; CARRÉ-MISSIO, V.; OLIVEIRA, M.G.A.; ZAMBOLIM, L. Efeito da aplicação foliar de silício na resistência à ferrugem e na potencialização da atividade de enzimas de defesa em cafeeiro. **Tropical Plant Pathology**, v.34, p.223-230, 2009.

PEREIRA, T.A. **Crescimento, anatomia e relações hídricas de café arábica adubados com diferentes combinações de silicato de cálcio e calcário**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Lavras, Lavras-MG. 45 p. 2007.

PEZZOPANE, J.R.M.; CASTRO, F.S.; PEZZOPANE, J.E.M.; BONOMO, R.; SARAIVA, G.S. Zoneamento de risco climático para cultura do café Conilon no Estado do Espírito Santo. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.341-348, 2010.

POZZA, A.A.A.; POZZA, E.A.; CARVALHO, J.G.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P.T.G.; SANTOS, D.M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.185-188, 2004.

PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. de. Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª Aproximação. Vitória, ES: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 305p., 2007.

PULZ, A.L.; CRUSCIOL, C. A. C; LEMOS, L. B.; SORATTO, R. P. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1651-1659, 2008.

RAMOS, L.A.; NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, M.S. de. Reatividade de corretivos da acidez e condicionadores de solo em colunas de lixiviação. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.30, p.849-857, 2006.

ROCHA, L.C. de M.; PRADO, R. de M.; FURTADO, T.B. Efeito residual de escórias de siderurgia como fonte de silício para cultura do sorgo. **Revista da FZVA**, v.18, p.10 –115, 2011.

SANTOS, V.M. **Potencial da Escória Silicatada na Correção da Acidez do Solo em Plantio Direto**. Viçosa: UFV. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Fitotecnia). 2009.

SÁVIO, F.L.; SILVA, G.C. da; TEIXEIRA, I.R.; BORÉM, A. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, p.103-110, 2011

SILVA, J.G.F. da. **Efeitos de diferentes lâminas e frequências de irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade do mamoeiro (*Carica papaya* L.)**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 1999.

SORATTO, R.P.; FERNANDES, A.M.; CRUSCIO, C.A.C.; SCHLICK, G.D. de S. Produtividade, qualidade de tubérculos e incidência de doenças em batata, influenciados pela aplicação foliar de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.47, p.1000-1006, 2012.

van GENUCHTEN, M.T. A Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VICENTINI, V.B.; ALMEIDA, G.D.; ZUCOLOTO, M. Silicato de cálcio e Benzotiadiazole na proteção de mamão contra atracnose em pós-colheita. **Boletín de Sanidad Vegetal**, v.35, p.131-137, 2009.

ZUBA JUNIO, G.R.; SAMPAIO, R.A.; NASCIMENTO, A.L.; LIMA, N.N. de; FERNANDES, L.A. Crescimento inicial do mamoneira adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. **Revista Caatinga**, v.24, p.157-163, 2011.

## 2.2. RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE PLANTAS CONDUZIDAS SOB DEFÍCITS HÍDRICOS E TRÊS CORRETIVOS DE SOLO

### Resumo

Entre os vários problemas que podem ser definidos como gargalos para a agricultura a deficiência hídrica, ocasionada por longos períodos de estiagem e, ou, por má distribuição das chuvas, e a elevada acidez dos solos, causada por características de formação do solo e, ou, utilização intensificada de insumos agrícolas, são grandes limitantes à produção. A indução à tolerância ao déficit hídrico vem se destacando entre as linhas de pesquisa, principalmente com o uso do silício como indutor. Dessa forma, objetivou-se avaliar as características fisiológicas de plantas de café conilon, mamão e braquiária, cultivadas em solo corrigido com silicato de cálcio e calcário, sob diferentes níveis de déficit hídrico no solo. O experimento, conduzido em casa-de-vegetação, contou com três culturas, estudadas isoladamente: mamoeiro (*Carica papaya*, cv. Sunrise Golden); cafeeiro (*Coffea canephora*, cultivar Incaper Vitória 8142 clone 12); e braquiária (*Brachiaria brizantha*, cultivar MG-05 Xaráes), em esquema fatorial 3 x 4, sendo o primeiro fator 3 corretivos agrícolas (calcário, uma vez a dose recomendada; silicato de cálcio, uma vez a dose recomendada; e silicato de cálcio, três vezes a dose recomendada) e o segundo 4 níveis de déficit hídrico no solo (correspondente a um consumo de 10%, 30%, 50% e 70% da água disponível no solo), no delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. Foram avaliadas a cinética de emissão da fluorescência transiente ou polifásica da clorofila *a* e teste JIP, teor relativo de clorofila e condutância estomática. As plantas de café apresentam resultados positivos quanto à indução de tolerância a partir dos corretivos silicatados. A cultura do mamoeiro aparentemente não foi afetada, em relação à tolerância, pelos corretivos agrícolas, mas seu desenvolvimento foi comprometido pelo estresse hídrico. Braquiária apresentou respostas diferenciadas para as características do teste JIP e curvas OJIP, evidenciando à tolerância ao déficit hídrico no solo.

**Palavras-chave:** Café conilon, braquiária, mamão, silício, estresse hídrico.

## 2.2. PHYSIOLOGICAL ANSWERS OF PLANTS CONDUCTED BENEATH HYDRIC DEFICITS AND THREE SOIL TREATMENTS

### Abstract

Among the several problems that can be defined as bottlenecks to agriculture the hydraulic deficiency, caused by long periods of drought and, or, by poor distribution of the rain, and the elevated acidity of the soil, caused by the characteristic formation of the soil and, or, intensified utilization of agricultural inputs, are each one in its own proportionality, huge limiting factors to the production. The induction to tolerance to the hydric deficit has been getting prominence between the lines of research, chiefly with the use of silicon as inductor. Thereby, it was fully objectified to evaluate the physiological characteristics of conilon coffee plants, papaya and brachiaria, cultivated in rectified soil with calcium silicate and calcareous, in different levels of hydric soil deficit. The experiment relied with three vegetable species, singly studied: *Carica papaya*, cultivate Sunrise Golden, *Coffea canephora*, cultivate Incaper Vitória 8142 clone 12 - conilon coffee; and *Brachiaria brizantha*, cultivate MG-05 Xaráes\* - brachiaria, in a simple factorial scheme 3 x 4, being three levels the agricultural rectified factor (calcareous, once the recommended dose ; calcium silicate, once the recommended dose; and calcium silicate three times the recommended dose) and four levels of the hydric deficit factor in the soil ( correspondent of a consume of 10%, 30%, 50% and 70% of available water in the soil), in experimental delineation of randomized\*\* blocks, with three repetitions. There were evaluated a emission kinetic of fluorescence transient or polyphase of chlorophyll *a* and JIP test, relative tenor of chlorophyll and stomatal conductance. The coffee plants presented positive results as the induction tolerance from the rectified silicates. The culture of the papaya tree apparently it wasn't smitten, in relation to the tolerance, by the agricultural remedial, but its development was compromised by the hydric stress. Brachiaria presented variable answers to the JIP test parameters and loopy OJIP, making it clear the tendency to tolerance to the hydric deficit in the soil.

**Key Words:** Coffee conillon, brachiaria, papaya, silicon, hydric stress.

## Introdução

Atualmente, vários problemas podem ser definidos como limitantes para a agricultura no Brasil e, de acordo com sua realidade, para o Estado do Espírito Santo. Destes, a deficiência hídrica, ocasionada por longos períodos de estiagem e, ou, por má distribuição das chuvas, e a elevada acidez dos solos, causada por características de formação do solo e, ou, utilização intensificada de insumos agrícolas são, cada um na sua proporcionalidade, grandes limitantes de produção.

Influenciando negativamente nas culturas de maior importância para o Espírito Santo, esses fatores proporcionam decréscimo de produção nas culturas do café conilon e do mamão, além de intensificar o processo de degradação das pastagens.

Conviver com os longos períodos de escassez de água e adotar medidas que contornem essa dificuldade, vem se tornando comum para maioria dos produtores no Norte do Espírito Santo. Para tanto, alternativas que visam minimizar as quedas de produção vêm sendo pesquisadas. O melhoramento genético e mudanças no manejo de irrigação são dois exemplos principais de técnicas utilizadas.

A indução à tolerância ao déficit hídrico vem se destacando entre as linhas de pesquisa. Estudar os benefícios trazidos por materiais já utilizados na agricultura é prática promissora. Assim, a utilização de silício, mais especificamente silicato de cálcio, surge como proposta para o incremento da resistência a diversos fatores de estresse, bióticos e abióticos (DATNOFF et al., 1990, DATNOFF et al., 1991; OSUNA-CANIZALES et al., 1991; BARBOSA FILHO et al., 2000; BUSATO et al., 2002; GOUSSAIN et al., 2002; POZZA et al., 2004). Conseqüentemente, a utilização de silicato de cálcio proporcionaria a correção da acidez do solo, visto seu poder redutor semelhante ao do calcário; mas com benefícios em relação a maior solubilidade em água e maior mobilidade no solo (SANTOS, 2009).

Diante deste comportamento, resultado do uso de silicatos, o desenvolvimento das plantas, mais especificamente o comprometimento dos mecanismos fisiológicos, como transpiração e aqueles relacionados à fotossíntese, anteriormente funcionando sob estresse, seriam restabelecidos.

Assim, o estudo de características que mensurem o quanto a fotossíntese pode ser afetada, notadamente sob déficit hídrico, é essencial. Atributos



relacionados como a fluorescência da clorofila *a* tem se tornado um método de ampla utilização por avaliar respostas das plantas aos estresses ambientais (STRASSER et al., 2000), permitindo entender o estado do aparato fotossintético (THOREN et al., 2010), principalmente do fotossistema II (FSII), e relações deste aparato com outras características fisiológicas, como teor de clorofila nas folhas e condutividade estomática.

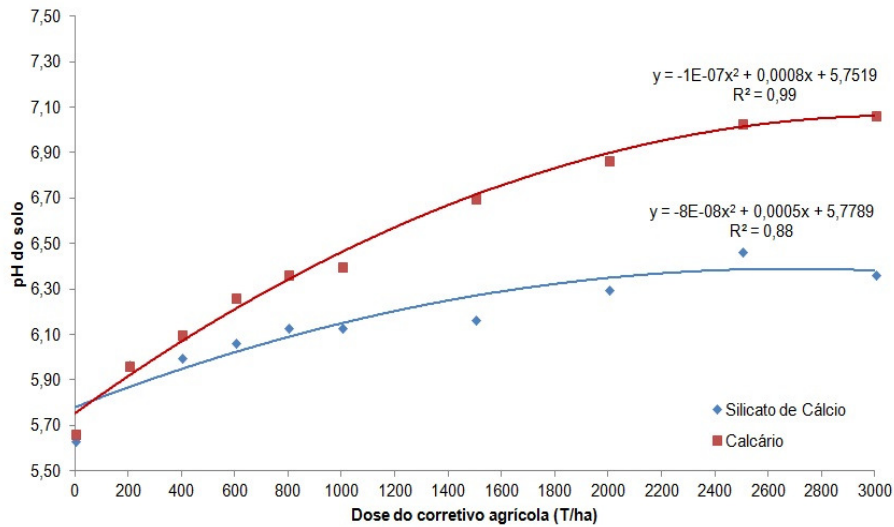
Dessa forma, objetivou-se no presente trabalho avaliar a influência de diferentes corretivos de solo e níveis de déficit hídrico no solo sobre as características fisiológicas de plantas de café conilon, mamão e braquiária.

## **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Centro Universitário Norte do Espírito Santo – CEUNES, da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, localizado no município de São Mateus, ES, com três culturas, estudadas isoladamente: mamão (*Carica papaya*, cv. Sunrise Golden), café conilon (*Coffea canephora*, cv. Incaper Vitória 8142 clone 12) e braquiária (*Brachiaria brizantha*, cv. MG-05 Xaráes).

O experimento foi montado em esquema fatorial simples 3 x 4, sendo 3 níveis do fator corretivos agrícolas (calcário, uma vez a dose recomendada; silicato de cálcio, uma vez a dose recomendada; e silicato de cálcio, três vezes a dose recomendada) e 4 níveis do fator déficit hídrico do solo (correspondente a um consumo de 10%, 30%, 50% e 70% da água disponível no solo), em delineamento experimental de blocos casualizados, com três repetições.

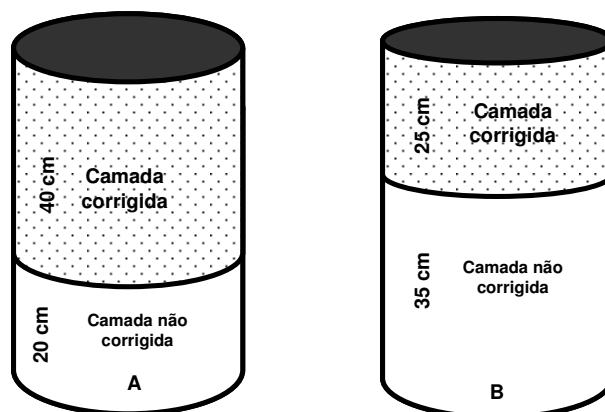
As doses dos corretivos agrícolas foram calculadas a partir das curvas de incubação do solo previamente estabelecidas para cada corretivo (Figura 1). Utilizando-se das equações geradas, empregou-se o uso do pH correspondente ao valor 6,0 para o cálculo das doses de calcário, silicato de cálcio e para o triplo da dose de silicato de cálcio, correspondendo a 325 kg ha<sup>-1</sup>, 480 kg ha<sup>-1</sup> e 1440 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para tais correções empregou-se o uso de calcário dolomítico com PRNT de 91,80% e PN de 98,88% e silicato de cálcio com PRNT de 72,30% e PN de 79,32%, que foram incorporados no solo com auxílio de uma betoneira.



**Figura 1.** Curva de incubação dos corretivos agrícolas no solo estudado.

As unidades experimentais empregadas foram vasos de polipropileno de aproximadamente 60 litros, com dimensões de 0,60 m de altura, 0,35 m de comprimento e 0,30 m de largura. Foi utilizado solo classificado como Argissolo Amarelo (EMBRAPA, 2006), de textura média (franco-arenoso), cujos teores de areia, silte e argila são respectivamente, 780 g kg<sup>-1</sup>, 20 g kg<sup>-1</sup> e 200 g kg<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 1997), coletado na camada de 0,0 a 0,20 m e peneirado em malha de 2,0 mm para utilização como substrato no plantio das culturas.

A correção do solo ocorreu da seguinte forma: para cultura do café conilon e do mamão o solo foi corrigido na camada superficial com profundidade de 0,40 m, tomando-se como base uma cova de plantio usual (0,40 m x 0,40 m x 0,40 m). Para a cultura da braquiária, a correção do solo foi realizada na profundidade de 0,25 m, baseando-se nas recomendações para essa cultura (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema de preenchimento das unidades experimentais (vasos) para café conilon e mamão (A) e para braquiária (B).

Após a correção do solo, o mesmo permaneceu incubado por 30 dias para o início da reação dos corretivos. Passado o período, foi realizada amostragem do solo em cada unidade experimental, para realização de análise química (EMBRAPA, 1997), obtendo-se  $4 \text{ mg dm}^{-3}$  de P,  $37 \text{ mg dm}^{-3}$  de K,  $0,7 \text{ cmolc dm}^{-3}$  de Mg,  $2 \text{ cmolc dm}^{-3}$  de Ca,  $1,9 \text{ dag kg}^{-1}$  de MO,  $3,1 \text{ cmolc dm}^{-3}$  de CTC efetiva e 60,9% de SB. De acordo com os resultados, foi realizada adubação de plantio para cada espécie. A cultura do café conilon recebeu  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$ . Para a cultura do mamão foram aplicados  $150 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $375 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $170 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$ . Enquanto que  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $445 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $85 \text{ kg ha}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$  foram às quantidades utilizadas para a cultura da braquiária (PREZOTTI et al., 2007).

Posteriormente à adubação foi realizado o transplântio das mudas de café conilon e mamão, que apresentavam aproximadamente 0,20 m, sendo uma muda de café por unidade experimental e três mudas de mamão por unidade experimental. Para a cultura da braquiária, foi realizada semeadura direta, distribuindo-se 0,1 gramas de semente por vaso, com valor cultural (VC) igual a 34. 30 dias após o transplântio das mudas de mamão e emergência das plantas de braquiária, foi realizado desbaste deixando-se, respectivamente, uma e duas plantas por recipiente.

Os níveis do fator déficit hídrico foram aplicados com as irrigações sendo executadas quando se atingia a umidade mínima estabelecida em função do déficit desejado. O valor da umidade mínima correspondente a cada nível de déficit foi determinado utilizando-se da curva de retenção de água no solo, ajustada pelo modelo de van Genuchten (1980) (Figura 3), determinada no laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Agrárias da UFES em Alegre, ES. Foram utilizados na experimentação como referências 10%, 30%, 50% e 70% da água disponível no solo, ou seja, a água retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, com valores de 16,56% (v/v) e 8,78% (v/v), respectivamente.

$$\theta = 0,035 + \frac{(0,035 - 0,21)}{(1 + (0,9894 \cdot \psi)^{2,7527})^{0,0596}}$$

**Figura 3.** Curva de retenção de água no solo ajustada pelo modelo de van Genuchten (1980).

Durante 180 dias foi realizado acompanhamento diário da umidade do solo, iniciados 30 dias após o plantio das espécies, nas camadas de 0,0 a 0,20 m e 0,21 a 0,40 m. Para isso, o monitoramento foi realizado por meio de sensor com princípio de TDR (modelo Trime-BT da IMKO) e previamente calibrado para o solo do experimento, inserido em tubo de acesso até a profundidade mediana dos vasos. Para leituras dos dados de umidade, foi utilizado o programa Pico-Talk, Versão 1.04 (IMKO), instalado em palmtop modelo RPDA 626 (ASUS) (Figura 4).



(A)



(B)

**Figura 4.** Coleta de dados de umidade do solo (A) e aparelhos utilizados para verificação de umidade do solo (B).

Durante todo o tempo de experimentação os tratamentos fitossanitários e adubações de manutenção das culturas seguiram recomendação para o estado do Espírito Santo.

Decorridos 90 dias de implantação dos tratamentos referentes ao déficit hídrico no solo foi realizada coleta de dados para avaliação da cinética de emissão da fluorescência transiente ou polifásica da clorofila *a* e teste JIP. Entre as 5:00 e 8:00 horas, adaptou-se ao escuro, com o auxílio de cliques foliares, durante 30 minutos, folhas jovens, totalmente expandidas, localizadas no terço médio da planta, afim de oxidar completamente o sistema fotossintético. Em seguida, utilizando fluorômetro portátil Handy PEA (Hanstech, King's Lynn, Norfolk, UK) emitiu-se um flash de luz, com intensidade de  $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  e duração de 1 segundo, coletando-se dados nos tempos de 50, 100, 300  $\mu\text{s}$ , 2, 30 ms e 1 s. As curvas OJIP e suas normalizações foram elaboradas de acordo com Strasser (2004) e as características estabelecidos pelo teste JIP foram calculados com subsídio do

software Biolyzer (Laboratório de Bioenergética, Universidade de Genebra, Suíça) a partir da fluorescência transiente.

Após 120 de implantação dos tratamentos foram realizadas avaliações de condutividade estomática e teor de clorofila nas folhas, no momento em que cada parcela atingia o nível de déficit hídrico correspondente a cada tratamento. As avaliações de condutividade estomática foram realizadas utilizando-se Porômetro SC-1, entre as 6:00 e 8:00 horas, na parte abaxial e na parte adaxial de duas folhas jovens, totalmente expandidas do terço médio e de lados opostos da planta. A condutividade estomática total foi encontrada somando-se os dados de condutividade nas partes inferior e superior das folhas. Durante o mesmo intervalo de tempo e nas mesmas folhas, foram coletados dados de intensidade de clorofila através de ClorofiLOG CFL 1030 (Falker).

Os dados foram submetidos às análises de variância, usando os níveis de significância de 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, e análise de regressão. Às médias dos efeitos dos corretivos agrícolas foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para os níveis de déficit hídrico no solo, os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste 't' e adotando o nível de 5% de probabilidade, bem como no coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e no fenômeno biológico.

## **Resultados e Discussão**

### **Cultura do Café Conilon**

O teor relativo de clorofila *a*, *b* e total não apresentou diferença estatística para os tratamentos aplicados às plantas de café conilon. Apresentando-se entre 400 e 500, o teor relativo de clorofila total foi expressa como a soma das clorofilas *a* e *b*, ambos presentes no centro de reação e no sistema antena do aparato fotossintético, e apresentando relação de aproximadamente 3:1 (clorofila *a*: clorofila *b*) (dados não apresentando).

Reduções dos valores da condutividade estomática abaxial foram observadas para as plantas de café conilon quando os intervalos entre as irrigações eram maiores (turno de rega em função de 70% de água disponível), independente do corretivo de solo utilizado. Menores trocas gasosas também são observadas para as plantas que recebem uma vez a dose de silicato de cálcio, sugerindo que estas

plantas apresentaram seus estômatos mais fechados ou apresentavam menor quantidade de estômatos por unidade de área.

Pode-se inferir que a queda na condutividade estomática nas plantas cultivadas sobre níveis maiores de déficit hídrico no solo seja proveniente da resistência hídrica no solo, que afeta todo potencial hídrico na planta, possivelmente, interferindo não só na condutividade estomática, mas também em todas as trocas gasosas e, conseqüentemente, na fotossíntese (CHARTZOVLKIS et al., 2002).

Os dados de condutividade estomática abaxial são de fundamental importância, pois de acordo com os dados coletados, apenas 18% das trocas gasosas são realizadas por estômatos no limbo superior das folhas de café, enquanto 82% são realizadas na parte abaxial das folhas desta espécie.

A intensidade máxima de fluorescência ( $F_m$ ) ocorre quando toda  $Q_A$  está reduzida e os centros de reação são incapazes de aumentar as reações fotoquímicas atingindo sua capacidade máxima (BAKER & ROSENQVST, 2004). Desta forma, quando cultivadas plantas de café conilon com diferentes corretivos agrícolas, nota-se que o maior valor foi obtido quando realizada correção do solo com a dose recomendada de silicato de cálcio (Tabela 1).

**Tabela 1.** Intensidade máxima de fluorescência ( $F_m$ ), em função de diferentes corretivos agrícolas, obtidos a partir da fluorescência transiente da clorofila *a* de *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12

Corretivos Agrícolas	$F_m$
Calcário	2636,68 b
Silicato de Cálcio	3046,00 a
3x Silicato de Cálcio	2899,68 ab
CV (%)	13,5

\* Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si segundo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Considerando decréscimo nos valores de  $F_m$  quando utilizado calcário e três vezes a dose recomendada de silicato de cálcio, observa-se, alteração na forma das curvas OJIP (LIN et al. (2009), (Figura 4), provavelmente provocada por danos fotoinibitórios do complexo FSII, indicados por decréscimo em  $\phi_{P0}$ , que indica o rendimento fotoquímico máximo para fotoquímica primária (BAKER & ROSENQVST,

2004) (Tabela 2), principalmente para irrigações realizadas quando eram consumidos 10% e 50% da água disponível no solo.

A absorção de fótons por seção transversal ( $ABS/CS_0$ ) e a dissipação de energia no instante zero ( $DI_0/CS_0$ ), quando realizada a comparação dos corretivos de solo, exibiram resultados semelhantes, principalmente quando observados os níveis de 30% e 50% de água disponível no solo (Tabela 2). Os resultados mostram que, para ambas as características, três vezes a dose de silicato de cálcio proporcionou incremento de seus valores, sendo este tratamento diferente estatisticamente dos demais.

Quando analisados os níveis de déficit hídrico, isolando os corretivos de solo, observou-se grande variação, com tendência quadrática, principalmente para os dados quando utilizado três vezes a dose de silicato de cálcio, observando-se o ponto de máxima, compreendido entre 30% e 50% de água disponível no solo (Figura 3).

Provavelmente o maior valor encontrado para  $ABS/CS_0$  está relacionado com um possível incremento do sistema antena, pertinente ao teor de clorofila *a* encontrado. O alto valor encontrado para  $DI_0/CS_0$  indica que grande parte da energia absorvida está sendo dissipada em forma de calor (Figura 3).

Segundo Thach et al. (2007), esta circunstância reflete perda na produtividade fotossintética, pois este mecanismo não suporta a quantidade de energia que está chegando. Dessa forma, sugere-se que as perdas estejam ocorrendo no transporte de energia pelo centro de reação (seção transversal) ( $ET_0/CS_0$ ), estatisticamente igual somente para os déficits de 10 e 70% (Tabela 2).

O índice de desempenho  $PI_{ABS}$  demonstrou resultados inferiores quando utilizado calcário e uma vez a dose de silicato de cálcio, quando as plantas de café foram manejadas com 70% da água disponível. Quando observados os resultados para três vezes a dose de silicato de cálcio, nota-se grande variação entre os níveis de déficit hídrico (Figura 3).

$PI_{ABS}$  é a variável que melhor define a resposta da planta a algum tipo de estresse (CHRISTEN et al., 2007; OUKARROUM et al., 2007). Sendo reflexos de outros três componentes, um relacionado com os centros de reação ativos no FSII, um relativo à fotoquímica primária e um ligado às reações redox do intersistema. Desta forma, os resultados encontrados mostram que a atividade do fotossistema II foi afetado em alguns tratamentos. Os resultados expostos levam a suposição de

que altas doses de silicato de cálcio proporcionem certa tolerância a deficiência hídrica devido a conformação da curva encontrada para este tratamento, que apesar de ter um ponto crítico de mínimo, apresenta recuperação exorbitante para um nível maior de estresse hídrico (70%). Possivelmente a faixa de déficit hídrico onde ocorreu o ponto de mínimo desempenho  $PI_{ABS}$  tenha sido algum problema de controle da umidade do solo, proporcionando recuperação deficitária em alguma parcela. Além disso, pode-se constatar que mesmo quando utilizada a dose recomendada de silicato de cálcio, o ponto de máxima eficiência é maior do que o melhor resultado encontrado para calcário, no desenvolver do déficit hídrico.

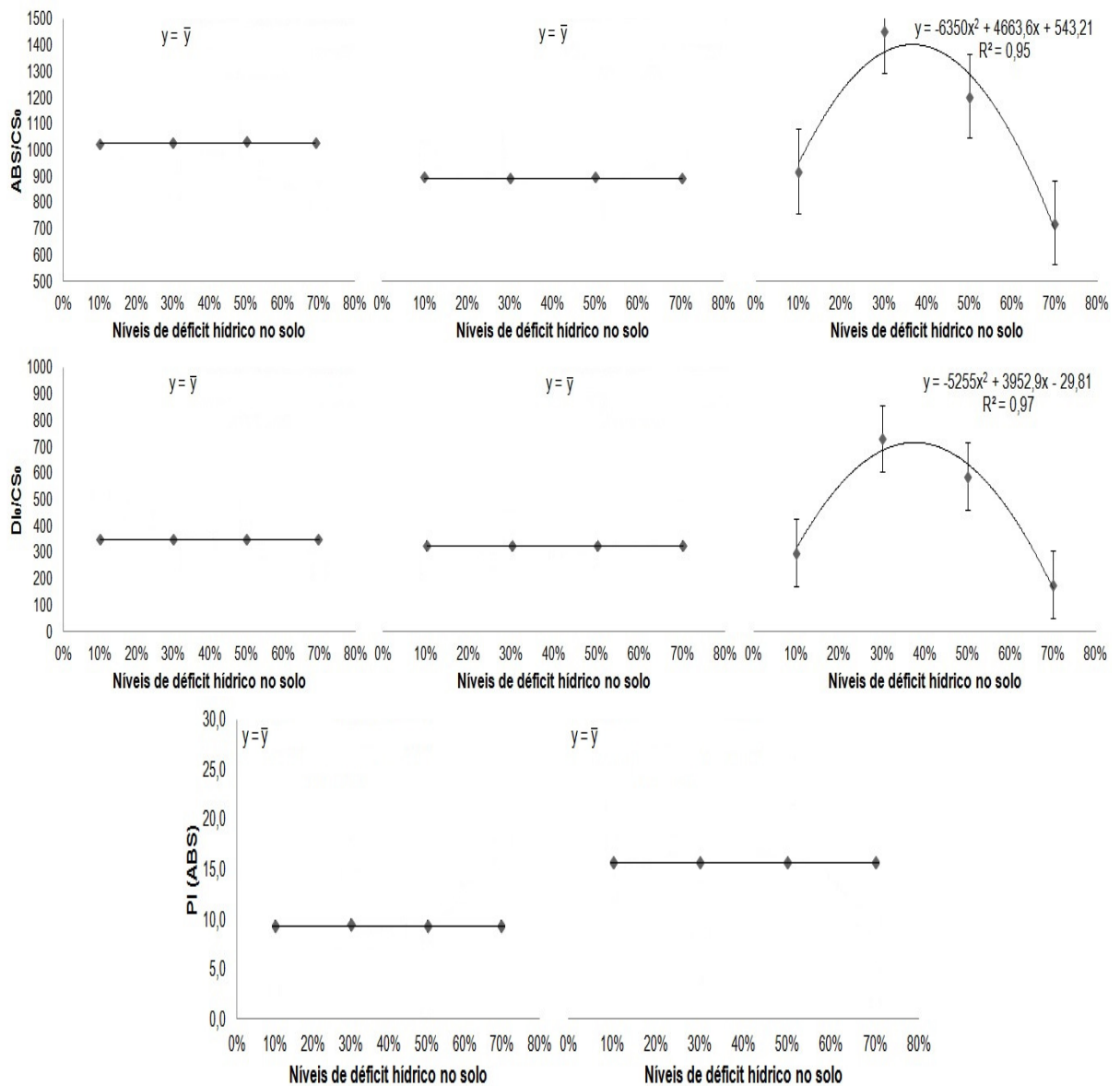


**Tabela 2.** Parâmetros do teste JIP, em função de diferentes corretivos agrícolas, obtidos a partir da fluorescência transiente da clorofila *a* de *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12

Corretivos Agrícolas	$\Phi_{P0}^{**}$			
	Níveis de Déficit Hídrico no Solo			
	10%	30%	50%	70%
Calcário	0,50 b	0,68 a	0,61 ab	0,71 a
Silicato de Cálcio	0,72 a	0,64 a	0,76 a	0,61 a
3x Silicato de Cálcio	0,70 ab	0,50 a	0,52 b	0,75 a
CV (%)	16,97			
ABS/CS <sub>0</sub>				
Calcário	1025,3 a	880,3 b	1048,3 ab	795,0 a
Silicato de Cálcio	941,0 a	993,0 b	761,5 b	1063,0 a
3x Silicato de Cálcio	919,0 a	1452,0 a	1206,3 a	723,3 a
CV (%)	20,95			
DI <sub>0</sub> /CS <sub>0</sub>				
Calcário	529,19 a	300,60 b	412,01 ab	239,50 a
Silicato de Cálcio	273,21 a	374,13 b	178,39 b	425,00 a
3x Silicato de Cálcio	297,72 a	728,83 a	587,15 a	177,50 a
CV (%)	44,47			
PI <sub>ABS</sub>				
Calcário	5,87 a	14,21 a	3,74 b	17,75 ab
Silicato de Cálcio	16,91 a	8,87 a	25,28 a	5,67 b
3x Silicato de Cálcio	16,93 a	1,05 a	1,68 b	25,84 a
CV (%)	81,87			

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

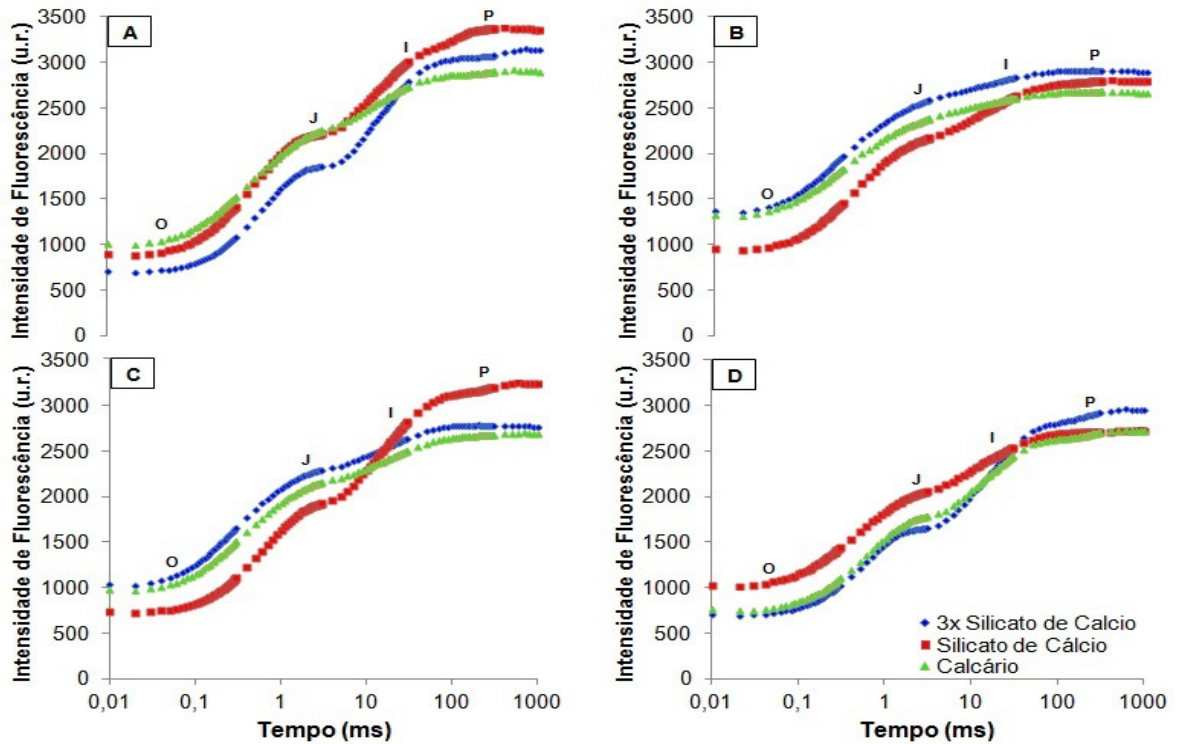
\*\*  $\Phi_{P0}$  = Rendimento quântico fotoquímico máximo para fotoquímica primária; ABS/CS<sub>0</sub> = Absorção por seção transversal (cross sections); DI<sub>0</sub>/CS<sub>0</sub> = Dissipação de calor por seção transversal; PI<sub>ABS</sub> = Índice de vitalidade para conservação de energia para redução do intersistema.



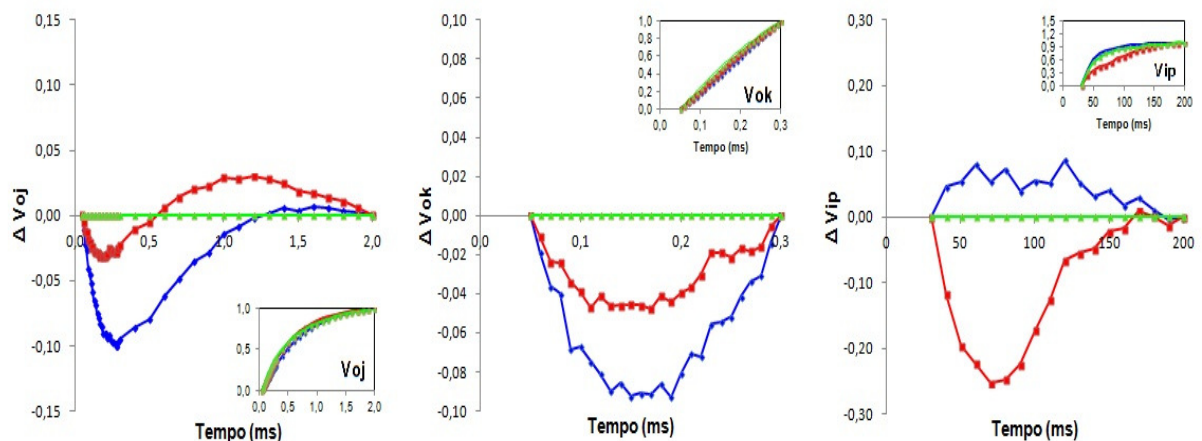
**Figura 3.** ABS/CS<sub>0</sub>, DI<sub>0</sub>/CS<sub>0</sub> e PI<sub>ABS</sub> em função dos níveis de déficit hídrico aplicados no solo para cada corretivo agrícola: uma vez a dose de calcário, uma vez a dose de silicato de cálcio e três vezes a dose de silicato de cálcio, respectivamente, para espécie *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12.

Observando as bandas K ( $\Delta V_{OJ}$ ), L ( $\Delta V_{OK}$ ) e I ( $\Delta V_{IP}$ ) nota-se claramente que os tratamentos onde se foi utilizada correção do solo com silício, exceto para o déficit hídrico de 70% da água disponível, apresentaram valores inferiores aos de calcário, que nesse caso representa a testemunha (Figura 5, 6, 7 e 8). Desta forma, podemos dizer que onde se usa consumo de 50% da água útil no solo como parâmetro para irrigação na cultura do café conilon, a utilização de silício, não afeta a cinética relativa aos distúrbios relativos às etapas de oxi-redução entre o lado

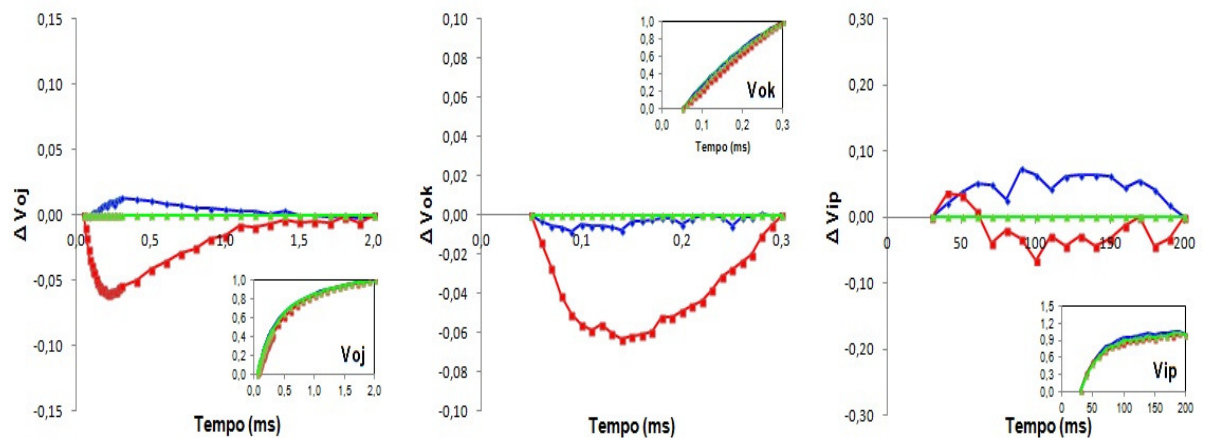
aceptor e doador do FSII (banda K), apresenta menores distúrbios fotoquímicos sobre a energia de conectividade entre unidade do FSII (banda L) e também apresenta menores distúrbios de oxi-redução do intersistemas e FSI (banda I).



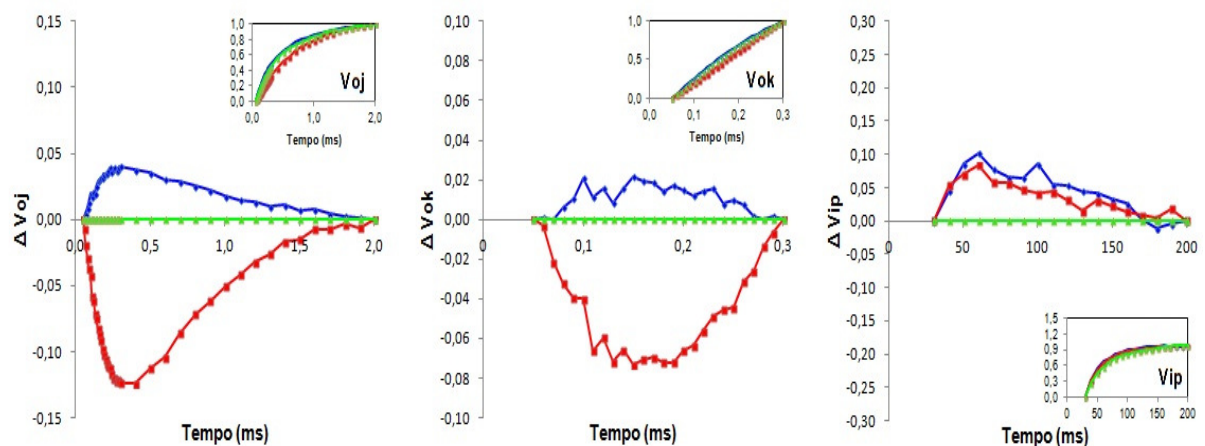
**Figura 4.** Transientes O-J-I-P em *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, cultivada em solo corrigido diferentes corretivos de solo. A, B, C e D referem-se a 10%, 30%, 50% e 70% de déficit hídrico no solo.



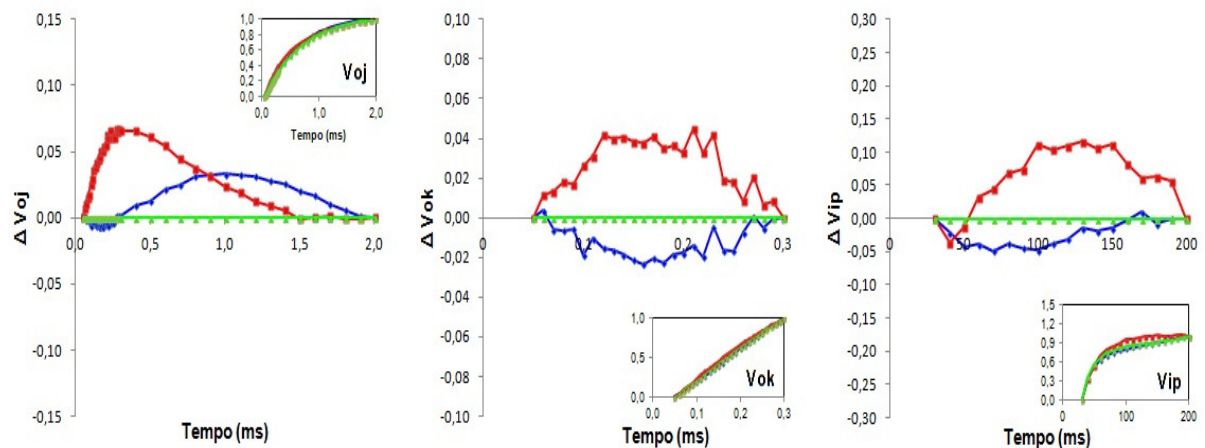
**Figura 5.**  $\Delta V_{oj}$ ,  $\Delta V_{ok}$  e  $\Delta V_{ip}$  em *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, sob 10% de água disponível no solo. Símbolo — refere-se a calcário; — uma vez a dose de silicato de cálcio; e — três vezes a dose de silicato de cálcio.



**Figura 6.**  $\Delta V_{oj}$ ,  $\Delta V_{ok}$  e  $\Delta V_{ip}$  em *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, sob 30% de água disponível no solo. Símbolo — refere-se a calcário; —, uma vez a dose de silicato de cálcio; e —, três vezes a dose de silicato de cálcio.



**Figura 7.**  $\Delta V_{oj}$ ,  $\Delta V_{ok}$  e  $\Delta V_{ip}$  em *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, sob 50% de água disponível no solo. Símbolo — refere-se a calcário; —, uma vez a dose de silicato de cálcio; e — três vezes a dose de silicato de cálcio.



**Figura 8.**  $\Delta V_{oj}$ ,  $\Delta V_{ok}$  e  $\Delta V_{ip}$  em *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, sob 70% de água disponível no solo. Símbolo — refere-se a calcário; — uma vez a dose de silicato de cálcio; e — três vezes a dose de silicato de cálcio.

De maneira geral, as características fisiológicas para cultura do café conilon tendem a resultados satisfatórios para utilização de silicato de cálcio quanto da tolerância destas plantas a níveis de déficit hídrico, de forma que, por algum momento, as plantas avaliadas apresentaram reduções na transpiração, como mecanismo de tolerância e maior eficiência de utilização da energia luminosa pelo aparato fotossintético.

### Cultura do Mamão

O teor relativo de clorofila total, *a* e *b*, para a cultura do mamoeiro não apresentou diferença estatística para nenhum dos tratamentos. Apesar da igualdade estatística nos resultados, é de suma importância salientar que os resultados de teor relativo de clorofila total foram em média de 450 e que a relação entre as clorofilas *a* e *b* foi de 2,5:1. Possivelmente este fato tenha ocorrido, visto que as plantas de mamão, em seu desenvolvimento normal, não suportam a deficiência hídrica, perdendo algumas folhas, ou mesmo, reduzindo a área foliar devido senescência de partes isoladas destas folhas. Assim, devido as características ambientais do Norte do ES, com altas irradiações, as plantas de mamão tenham desenvolvido quantidade maior de clorofila *a*, para aumentar a eficiência de absorção da luz em comprimentos de onde maiores, tentando contornar o estresse hídrico e manter o desenvolvimento.

Os resultados de condutividade estomática total foram diferentes estatisticamente para interação entre os corretivos de solo e os níveis de déficit hídrico no solo. A diferença entre os corretivos de solo fica evidenciada quando as irrigações foram realizadas para 30% e 50% de água consumida no solo, onde houve queda significativa da condutividade quando utilizado três vezes a dose de silicato de cálcio, em 30% de déficit, e em calcário e silicato de cálcio, em 50% (Tabela 3).

Segundo alguns pesquisadores (REIS & CAMPOSTRINI, 2008), o déficit hídrico no solo pode causar redução das trocas gasosas proporcionadas pelos estômatos e da fotossíntese do mamoeiro, informação esta que diferente da encontrada no experimento, visto que os níveis de condutividade estomática para as plantas que permaneceram mais tempo sem água foram baixos em comparação aos demais tratamentos, independente do corretivo de solo.

Observando-se somente os dados da intensidade de clorofila e da condutividade estomática, nenhuma inferência segura pode ser feita quanto à utilização do silicato de cálcio, uma vez que, principalmente para condutividade estomática, os dados apresentaram contraditórios.

**Tabela 3.** Condutividade estomática total da folha de plantas de *Carica papaya* cv. Sunrise Golden em função de corretivos de solo e de níveis de déficit hídrico

Condutividade estomática total ( $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )				
Corretivos Agrícolas	Níveis de Déficit Hídrico no Solo			
	10%	30%	50%	70%
Calcário	10,87 a	28,60 a	7,13 b	21,50 a
Silicato de Cálcio	11,10 a	30,13 a	11,80 b	21,87 a
3x Silicato de Cálcio	18,50 a	9,93 b	28,43 a	16,17 a
CV (%)	44,0			

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Os parâmetros do teste JIP apresentaram diferença estatística somente entre os corretivos agrícolas e para as variáveis: fluorescência relativa variável aos 30 ms ( $V_1$ ) e para o fluxo de elétrons transportados por centro de reação no tempo zero ( $ET_0/CS$ ) (Tabela 4). O  $ET_0/CS$  demonstrou pequena queda quando utilizada a dose de silicato de cálcio como corretivo de solo em comparação ao controle

calcário e a aplicação do triplo da dose de silicato de cálcio. Já  $V_i$  apresentou o valor mais alto quando utilizado silicato de cálcio, independente do nível de déficit hídrico. Fazendo analogia às curvas OJIP (Figura 9), nota-se elevação da curva de silicato de cálcio após o ponto I, ou 30 ms, para 30%, 50% e 70% de déficit hídrico, confirmando as médias encontradas para  $V_i$ .

**Tabela 4.** Parâmetros do teste JIP, em função de diferentes corretivos agrícolas, obtidos a partir da fluorescência transiente da clorofila *a* de *Carica papaya* cv. Sunrise Golden

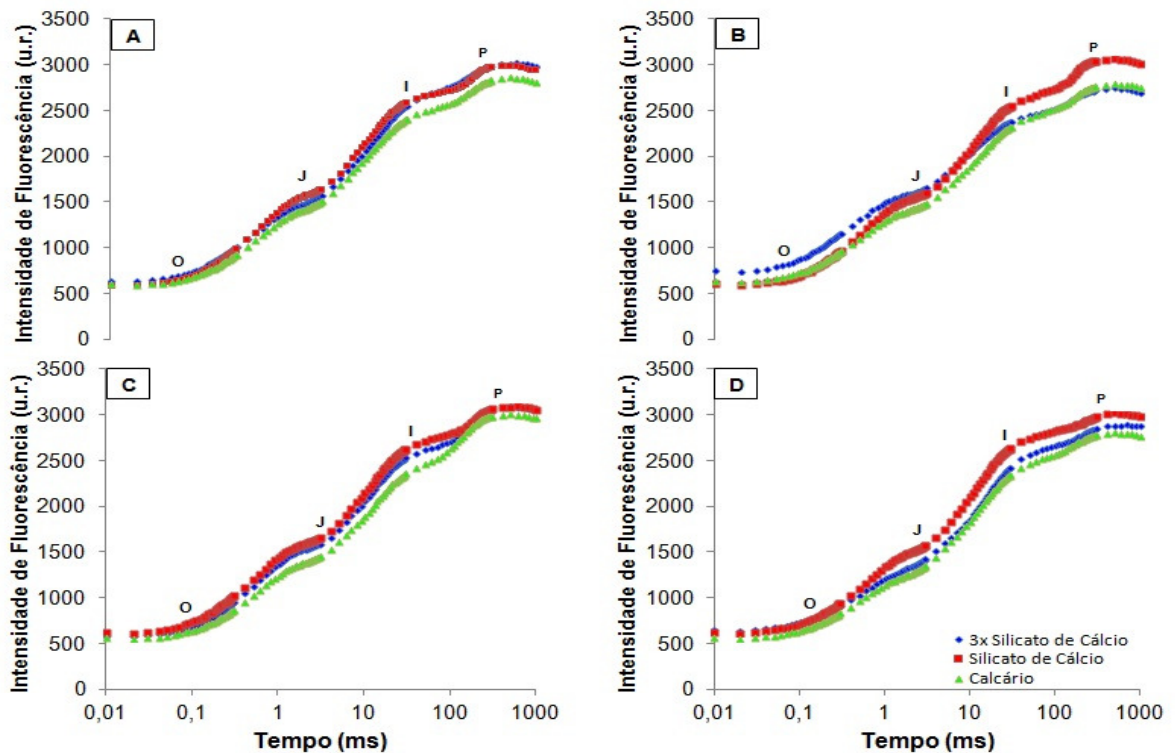
Corretivos Agrícolas	$V_i$	$ET_0/RC^{**}$
Calcário	0,778 b	0,995 a
Silicato de Cálcio	0,816 a	0,915 b
3x Silicato de Cálcio	0,797 ab	1,022 a
CV (%)	4,02	6,04

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\*\*  $V_i$  = Fluorescência relativa variável aos 30 ms;  $ET_0/RC$  = Fluxo de elétrons transportados por centro de reação em  $t = 0$ .

As curvas OJIP apresentaram tendência parecida para os corretivos de solo quando feitas para cada tempo de controle de irrigação. Salvo algumas pequenas alterações, principalmente para os tratamentos onde se utilizou de silício, as curvas permaneceram com a mesma conformidade, não demonstrando qualquer indício de tolerância das plantas de mamão ao déficit hídrico no solo (Figura 9).



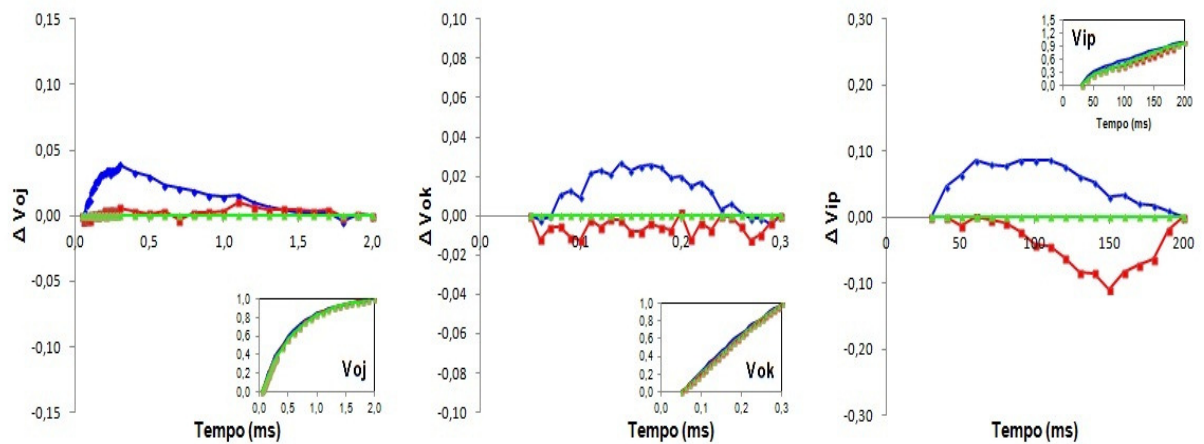


**Figura 9.** Transientes O-J-I-P em *Carica papaya* cv. Sunrise Golden, cultivada em solo corrigido com calcário, silicato de cálcio e três vezes a dose de silicato de cálcio. A refere-se a 10%, B a 30%, C a 50% e D a 70% de déficit hídrico no solo.

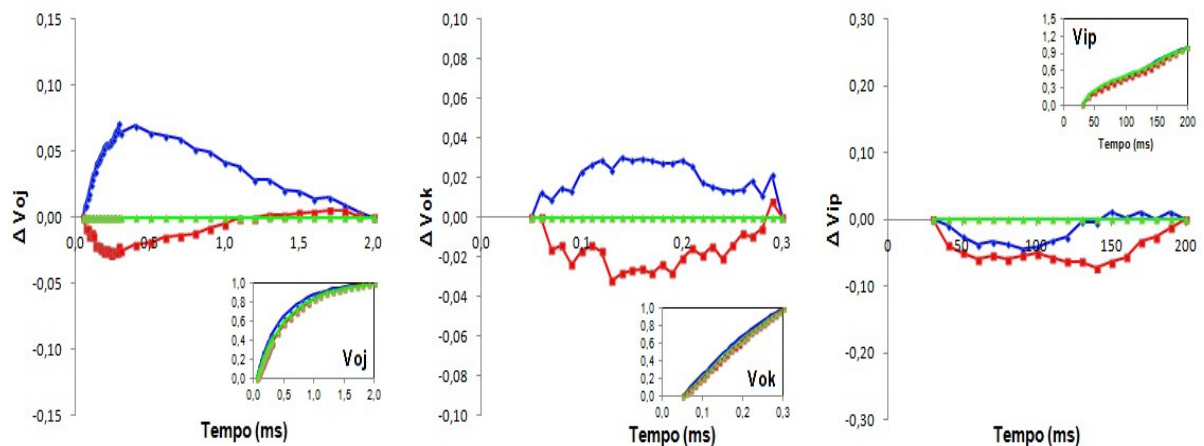
As bandas K ( $\Delta V_{OJ}$ ), L ( $\Delta V_{OK}$ ) e I ( $\Delta V_{IP}$ ) para o mamão apresentaram pequena tendência à variação em relação ao calcário, utilizado como controle, independente do nível de déficit hídrico (Figuras 10, 11, 12 e 13).

Apesar da pequena diferença encontrada entre os tratamentos, pode-se notar que, com a utilização de doses superiores de silicato de cálcio, a fluorescência apresenta resultados acima do controle calcário. Isso pode indicar que altos teores de silício aplicados no solo podem interferir de forma negativa no aparato fotossintético, fazendo com que a energia, em partes da cadeia transportadora de elétrons, seja transmitida com menor eficiência, havendo a necessidade de se observar qual a dose mais adequada para utilização deste insumo.

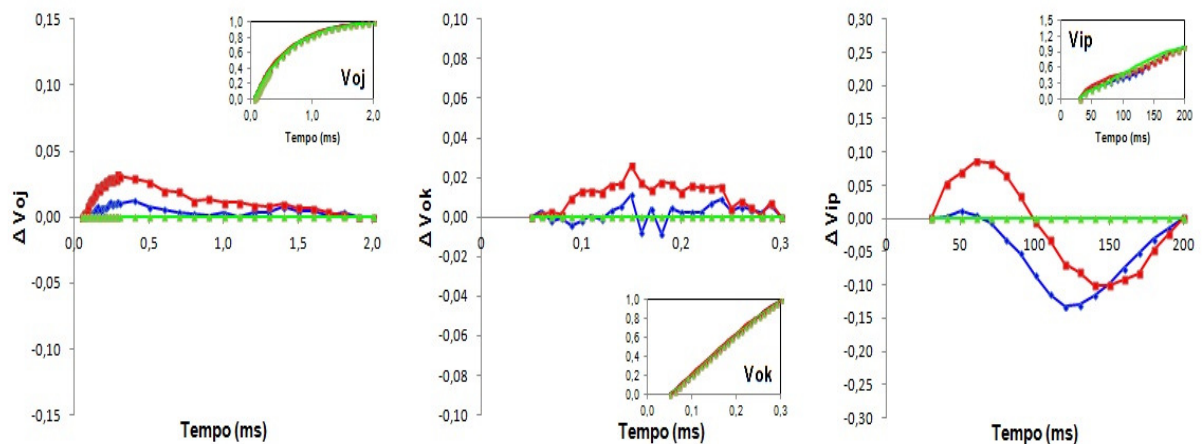




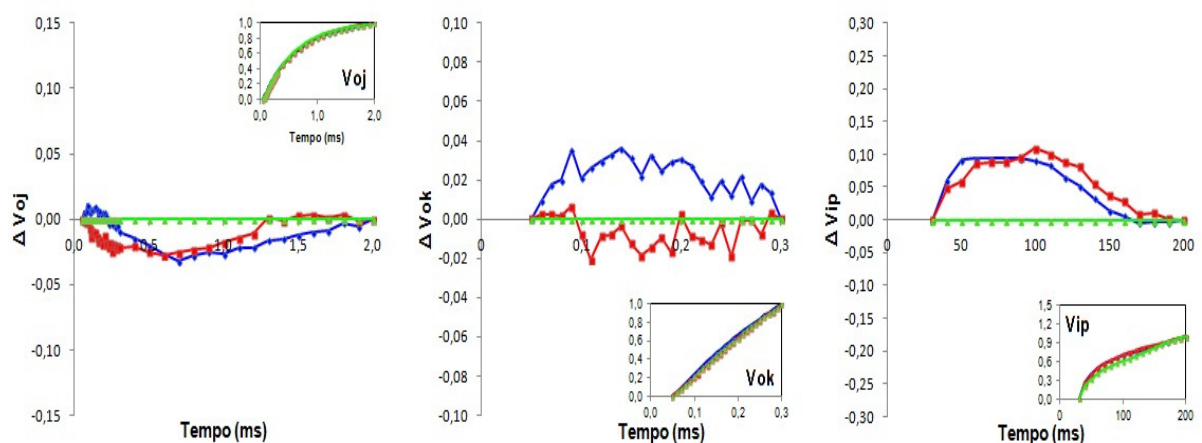
**Figura 10.**  $\Delta V_{oj}$ ,  $\Delta V_{ok}$  e  $\Delta V_{ip}$  em *Carica papaya* cv. Sunrise Golden, sob 10% de água disponível no solo. Símbolo — refere-se a calcário; — uma vez a dose de silicato de cálcio; e — três vezes a dose de silicato de cálcio.



**Figura 11.**  $\Delta V_{oj}$ ,  $\Delta V_{ok}$  e  $\Delta V_{ip}$  em *Carica papaya* cv. Sunrise Golden, sob 30% de água disponível no solo. Símbolo — refere-se a calcário; — uma vez a dose de silicato de cálcio; e — três vezes a dose de silicato de cálcio.



**Figura 12.**  $\Delta V_{oj}$ ,  $\Delta V_{ok}$  e  $\Delta V_{ip}$  em *Carica papaya* cv. Sunrise Golden, sob 50% de água disponível no solo. Símbolo — refere-se a calcário; — uma vez a dose de silicato de cálcio; e — três vezes a dose de silicato de cálcio.



**Figura 13.**  $\Delta V_{oj}$ ,  $\Delta V_{ok}$  e  $\Delta V_{ip}$  em *Carica papaya* cv. Sunrise Golden, sob 70% de água disponível no solo. Símbolo — refere-se a calcário; — uma vez a dose de silicato de cálcio; e — três vezes a dose de silicato de cálcio.

### Resultados para Braquiária

O teor relativo de clorofila *a* foi significativamente maior nos tratamentos que utilizaram calcário, sendo este igual estatisticamente ao tratamento que utilizou uma vez a dose de silicato de cálcio. Quando analisados os dados de clorofila *b* foi observada diferença estatística entre os níveis do fator corretivos agrícolas, apresentando o triplo da dose de silicato de cálcio resultado superior aos demais tratamentos (Tabela 5).

A relação clorofila *a/b* para os diferentes corretivos utilizados foi de aproximadamente 2 para calcário, 2,3 para silicato de cálcio e 0,8 para três vezes silicato de cálcio, que também apresentou menor quantidade de clorofila *a* (Tabela 5). Desta forma podemos entender que a utilização de três vezes a dose de silicato de cálcio trouxe prejuízos à estrutura das plantas de braquiária, fazendo com que houvesse a necessidade de aumentar o sistema antena, proporcionando assim, maior captação de luz.

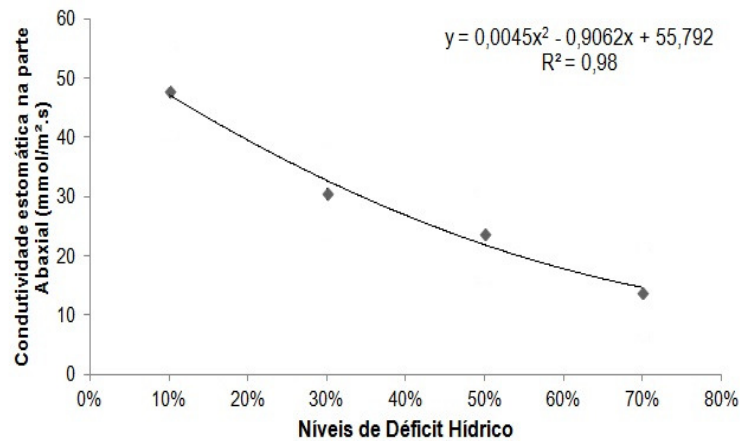
Este comportamento demonstrado pelas plantas de braquiária não são característicos de plantas C4 que, segundo Salisbury & Ross (1991), não necessitam investir energia na produção de pigmentos coletores de luz, pois se desenvolvem bem em ambientes saturados de luz. Por outro lado, a menor quantidade de clorofila *a* pode ser explicada pelo alto índice de radiação com maior comprimento de onda incidindo sobre as plantas de braquiária, devidos às condições ambientais as quais as plantas estavam expostas e possível arquitetura causada pelo silício nas folhas da gramínea, proporcionando, talvez, degradação desta substância (BÉLANGER & MENZIES, 2003).

**Tabela 5.** Teor de clorofila *a* de plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Xaráes em função de diferentes corretivos de solo

Corretivos de solo	Clorofila <i>a</i>	Clorofila <i>b</i>	Relação <i>a/b</i>
Calcário	373,42 a	176,08 b	2,0
Silicato de cálcio	305,33 ab	108,42 b	2,3
3x Silicato de cálcio	276,92 b	339,58 a	0,8
CV(%)	12,30	4,55	---

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A condutividade estomática total e adaxial não apresentou diferença estatística para qualquer tratamento aplicado às plantas de braquiária, enquanto que a condutividade abaxial foi diferente estatisticamente para os níveis de déficit hídrico no solo, de forma que, com o aumento no turno de rega proporcionado pelos níveis de déficit hídrico estipulado, houve em decréscimo nos valores de condutividade (Figura 14)



**Figura 14.** Condutividade estomática da parte abaxial da folha de plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Xaráes em função de níveis de déficit hídrico no solo.

Absorção ( $ABS/CS_M$ ), captura ( $TR_0/CS_M$ ) e transporte de elétrons por sessão transversal ( $ET_0/CS_M$ ) apresentaram diferença estatística para interação entre os níveis de déficit hídrico e os corretivos de solo. Todavia, semelhante, quando comparados os corretivos de solo para estas três variáveis, os resultados foram diferentes apenas para 10% de déficit hídrico, sendo, nesta comparação, calcário e a dose de silicato de cálcio, iguais pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade e com menores valores (Tabela 6). Este resultado mostrou maior eficiência, para 10% de déficit hídrico, do tratamento que utilizou o triplo da dose de silicato de cálcio, podendo fazer a suposição de que estes tratamentos beneficiem a planta quanto ao estresse hídrico proporcionado, não havendo modificação nas partes estudadas do aparato fotossintético.

Absorção ( $ABS/CS_M$ ), captura ( $TR_0/CS_M$ ) e transporte de elétrons por sessão transversal ( $ET_0/CS_M$ ) apresentaram características muito semelhantes quando comparados os níveis de déficit hídrico dentro de cada corretivo agrícola. Observando-se a curva para calcário, nota-se, para todas as características, uma curva crescente de 10% para 70%. Já as curvas para silicato de cálcio e para três vezes silicato de cálcio, ambas quadráticas, com pontos de mínimo e de máximo, respectivamente, encontrados quando as irrigações eram realizadas com consumo de 30% e 50% da água disponível.

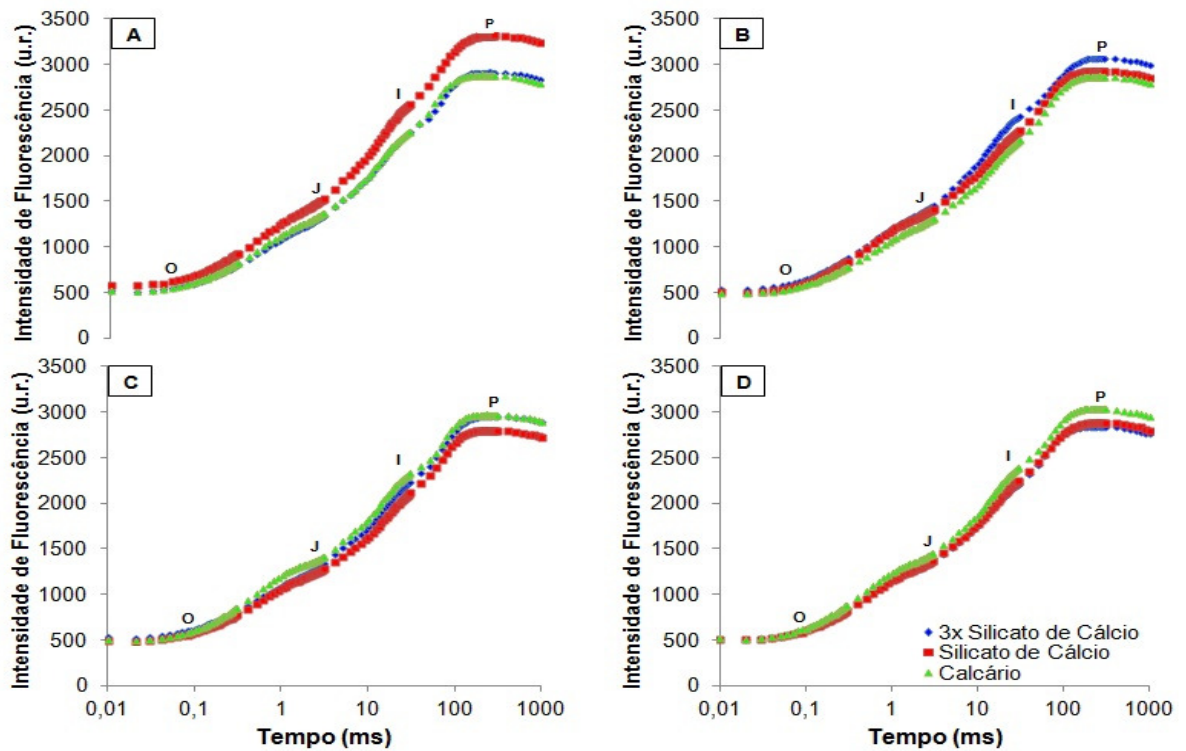
**Tabela 6.** Parâmetros do teste JIP, em função de diferentes corretivos agrícolas, obtidos a partir da fluorescência transiente da clorofila *a* de *Brachiaria brizantha* cv. MG-5

ABS/CS <sub>m</sub> **				
Corretivos Agrícolas	Níveis de Déficit Hídrico no Solo			
	10%	30%	50%	70%
Calcário	2896,3 b	2887,7 a	2975,3 a	3052,0 a
Silicato de Cálcio	2916,3 b	2942,7 a	2813,3 a	2897,7 a
3x Silicato de Cálcio	3329,0 a	3074,0 a	2965,0 a	2848,7 a
CV (%)	4,54			
TR <sub>0</sub> /CS <sub>m</sub>				
Calcário	2336,66 b	2350,30 a	2434,07 a	2491,35 a
Silicato de Cálcio	2366,69 b	2392,36 a	2280,01 a	2348,38 a
3x Silicato de Cálcio	2702,27 a	2497,93 a	2395,31 a	2300,58 a
CV (%)	4,67			
ET <sub>0</sub> /CS <sub>m</sub>				
Calcário	1604,6 b	1650,6 a	1630,7 a	1673,6 a
Silicato de Cálcio	1675,1 b	1606,4 a	1603,3 a	1598,9 a
3x Silicato de Cálcio	1894, 7 a	1715,9 a	1716,3 a	1562,6 a
CV (%)	5,68			

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

\*\* ABS/CS<sub>0</sub> = Absorção por seção transversal (cross sections); TR<sub>0</sub>/CS<sub>m</sub> = Captura de elétrons no instante zero por seção transversal; ET<sub>0</sub>/CS<sub>m</sub> = Transporte de elétrons no instante zero por seção transversal.

As transientes OJIP apresentaram conformação uniforme, sendo que algumas alterações foram observadas no déficit hídrico de 10%, com aumento significativo a partir do ponto J, do tratamento com silicato de cálcio. De forma semelhante, pequena alteração do tratamento com três vezes a dose de silicato de cálcio foi observada quando se utilizou como base de irrigação 30% de déficit de água no solo. Os maiores níveis de déficit hídrico apresentaram excesso de fluorescência para os tratamentos onde se utilizou calcário como corretivo de solo (Figura 15).



**Figura 15.** Transientes O-J-I-P em *Brachiaria brizantha* cv. MG-5, cultivada em solo corrigido com calcário, silicato de cálcio e três vezes a dose de silicato de cálcio. (A) refere-se a 10%, (B) a 30%, (C) a 50% e (D) a 70% de déficit hídrico no solo.

## Conclusões

1. A cultura do café conilon sofreu influência positiva quando cultivada sobre solos corrigidos com silicato de cálcio e déficit hídrico variando entre 30% e 50%.
2. A cultura do mamoeiro não apresentou diferenças que resultassem em aumento de tolerância em relação à testemunha calcário.
3. A cultura do mamão é bastante afetada pela deficiência hídrica do solo.
4. A utilização de silicato de cálcio proporcionou resposta diferenciada das plantas de braquiária, quanto aos parâmetros do teste JIP, evidenciando possível tolerância ao estresse por falta de água no solo.
5. Mais experimentos devem ser realizados, com análise de outras características, para constatação da indução de tolerância nestas espécies.

## Referências Bibliográficas

ATRASSER, R.J. The fluorescence transient as a tool to characterize and screen photosynthetic samples. IN: YUNUS, M. (Ed) **Probing photosynthesis: mechanism, regulation and adaption**. London: Taylor & Francis, p.443-480.

BAKER, N.R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: na examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v.55, p.1607-1621, 2004.

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; PRABHU, A.S.; DATNOFF, L.E.; KORNDÖRFER, G.H. **Importância do silício para a cultura do arroz (Uma revisão de literatura) Informações Agrônomicas**. Encarte técnico. n.89, p.1-8, 2000.

BÉLANGER, R.R.; MENZIES, J.G. Use of silicon to control diseases in vegetable crops. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, 36, Uberlândia, **Fitopatologia Brasileira**, v.28, p.542-545, 2003.

BUSATO, G.R.; GRÜTZMACHER, A.D.; GARCIA, M.S.; GILO, F.P.; MARTINS, A.F. Consumo e utilização de alimento por *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidade) originária de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, das culturas do milho e do arroz irrigado. **Neotropical Entomology**, v.31, p.110-118, 2002.

CHARTZOULAKIS, K. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. **Scientia Horticulturae**, v.95, p.39-50, 2002.

CHRISTEN, D.; SCHONMANN, S.; JERMINI, M.; STRASSER, R.J.; DÉFAGO, G. Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to esca disease by *in situ* chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. **Environmental and Experimental Botany**, v.60, p.504-514, 2007.

DATNOFF, L.E., RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, v.75, p.729-732, 1991.

DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Evaluation of calcium silicate slag and nitrogen on brown spot, neck rot, and sheath blight development on rice. **Biological and Cultural Tests for Control of Plant Diseases**, v.5, p.65, 1990.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Brasília, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documento, 1).



EUCLYDES, R.F. **SAEG (Sistema para análise estatística e genética) Manual de utilização do programa SAEG**. Viçosa: UFV, 2005.

FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A. de; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; MUNER, L.H.D. **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007. 702p.

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N.L.; ROSSI, M.L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v.31, p.305-310, 2002.

LIN, Z.H., CHEN, L.S., CHEN, R.B., ZHANG, F.Z., JIANG, H.X., TANG, N. CO<sub>2</sub> assimilation, ribulose-1,5-biphosphate carboxylase/oxygenase, carbohydrates and photosynthetic electron transport probed by the JIP-test, of tea leaves in response to phosphorus supply. **BMC Plant Biology**, v.9, p.1-12, 2009.

OSUNA-CANIZALES, F.J.; DEDATTA, S.K.; BONMAN, J.M. Nitrogen form and silicon nutrition effects on resistance to blast disease of rice. **Plant and Soil**, v.135, p.223-231, 1991.

OUKARROUM, A.; MADIDI, S.E.L.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R.J. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll *a* fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, v.60, p.438-446, 2007.

POZZA, A.A.A.; POZZA, E.A.; CARVALHO, J.G.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P.T.G.; SANTOS, D.M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.185-188, 2004.

PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª Aproximação**. Vitória, ES: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

REIS, F.O.; CAMPOSTRINI, E. Trocas gasosas e eficiência fotoquímica potencial em mamoeiro do grupo 'formosa' cultivado em condição de campo. **Bragantia**, v.67, p.815-822, 2008.

SANTOS, V.M. **Potencial da Escória Silicatada na Correção da Acidez do Solo em Plantio Direto**. Viçosa: UFV. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Fitotecnia). 2009.

STRASSER, R.J.; SRIVASTAVA, A.; TSIMILLI-MICHAEL, M. Analysis of fluorescence transient, In: G. Papageogiou, Govindjee (eds.), **Chlorophyll Fluorescence: a Signature of Photosynthesis, Advances in Photosynthesis and Respiration**, Springer, Dordrecht, v.19, p.321-362, 2004.

THACH, L.B.; SHAPCOTT, A.; SCHMIDT, S.; CRITCHLEY, C. The OJIP fast fluorescence rise characterizes *Graptophyllum* species and their stress responses. **Photosynthesis Research**, v.94, p.423-436, 2007.



THOREN, D. Influence of ambient light and temperature on laser-induced chlorophyll fluorescence measurements. **European Journal of Agronomy**, v.32, p.169-176, 2010.

van GENUCHTEN, M.T. A Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

### 2.3. ALTERAÇÕES ANATÔMICAS EM CAFÉ CONILON E BRAQUIÁRIA EM FUNÇÃO DO USO DE CORRETIVOS E DO DÉFICIT HÍDRICO NO SOLO

#### Resumo

Algumas das principais culturas de interesse econômico para o estado do Espírito Santo, como o café conilon e as pastagens degradadas, são cultivados sob condições climáticas caracterizadas por elevadas temperaturas e um longo período de estiagem. Uma alternativa de baixo custo e de grande importância ambiental para redução da acidez seria a utilização de escórias advindas de siderurgias (silicato de cálcio), além da possível geração de resistência ao déficit hídrico. Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo estudar interferência da aplicação de silicato de cálcio nas estruturas anatômicas de café conilon e braquiária, quando cultivados sob regime de deficiência hídrica no solo. O experimento, conduzido em casa-de-vegetação, contou com duas culturas, estudadas isoladamente: cafeeiro (*Coffea canephora*, cultivar Incaper Vitória 8142 clone 12); e braquiária (*Brachiaria brizantha*, cultivar MG-05 Xaráes), em esquema fatorial 3 x 2, sendo o primeiro fator 3 corretivos agrícolas (calcário, uma vez a dose recomendada; silicato de cálcio, uma vez a dose recomendada; e silicato de cálcio, três vezes a dose recomendada) e o segundo 2 níveis de déficit hídrico no solo (correspondente a um consumo de 10% e 70% da água disponível no solo), no delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. No café conilon, foram observadas as espessuras da epiderme adaxial e abaxial, do parênquima paliçádico e do lacunoso da folha. Na braquiária, foi estudada a espessura dos elementos de vaso 1 e 2, do primeiro grupo de células buliformes, total da nervura central, da lâmina vizinha ao feixe de maior porte e o diâmetro do xilema no feixe de maior porte. As plantas de café conilon apresentaram estruturas mais desenvolvidas para o menor grau de déficit hídrico e utilização de silicato de cálcio. Os corretivos silicatados determinaram maior crescimento, em ambos os déficits, nas plantas de braquiária.

**Palavras-chave:** Tecidos vegetais, *Coffea canephora*, *Brachiaria brizantha*, silício, água no solo.

### 2.3. ANATOMICAL ALTERATION IN COFFEE AND BRACHIARIA IN FUNCTION OF THE USE OF CORRECTIVE AND THE HYDRIC DEFICIT IN THE SOIL

#### Abstract

Two major hindrances that limit the production of the various cultures in agricultural systems: the elevated acidity of the soils and the hydric deficit in cultivation not irrigated. Some of the main economic interest of cultures to the state of Espírito Santo, like the conillon coffee and the degraded pasturage, cultivated under climatic conditions characterized by elevated temperatures and a long period of drought. A low cost alternative and of big environmental importance for the cutback of acidity would be the utilization of slags that come from steel mill (silicate of calcium), beyond the possible generation of resistance to the hydric deficit. Thus, this work had as objective study the application interference of calcium silicate in the anatomical structures of the conillon coffee and brachiaria, when cultivated under the regime of hydric deficiency in the soil. The experiment counted with two vegetable species, singly studied: *Coffea canephora*, cultivate Incaper Vitória 8142 clone 12 - conillon coffee; and *Brachiaria brizantha*, cultivate MG-05 Xaráes - brachiaria, in a simple factorial scheme 3 x 2, being three levels of the factor agricultural corrective (calcareous, recommended dosage is once) and four levels of the hydric deficit factor in the soil (correspondent of a consume of 10%, and 70% of available water in the soil) in randomized blocks, with three repetitions. In the conillon coffee, there were observed the epidermis adaxial thickness and abaxial, of the parenchyma palisade and of the many holes of the leaf. In the brachiaria, was studied the thickness of vase's elements 1 and 2, of the first group of buliforme\* cells, the total of the nervure central, of the neighbor blade to the sheaf with the largest capacity and the diameter of the xylem in the sheaf of larger capacity. The coffee conillon plants presented structures more developed to the lesser extent of hydric deficit and utilization of calcium silicate. The silicate rectified determined further growth, on both deficits, in the plants of brachiaria.

**Key words:** Cloth of plant, *Coffea canephora*, *Brachiaria brizantha*, silicon, water in the soil.

## Introdução

Dois graves entraves limitam a produção das diversas culturas em sistemas agropecuários, não só no estado do Espírito Santo, mas na maior parte do Brasil: a elevada acidez dos solos e o déficit hídrico em cultivos não irrigados.

Algumas das principais culturas de interesse econômico para o estado do Espírito Santo concentram-se no Norte do Estado, como o café conilon e as pastagens degradadas, cultivados sob condições climáticas caracterizadas por elevadas temperaturas e um longo período de estiagem.

As alternativas empregadas para contornar os riscos de perdas com o déficit hídrico, proporcionado por estas condições, tem sido o melhoramento genético das espécies, buscando maior tolerância à seca; práticas culturais como o plantio em épocas e regiões mais favoráveis, respeitando-se o zoneamento edáfico e agroclimatológico; além da própria irrigação.

Para os solos ácidos, uma alternativa de baixo custo e de grande importância ambiental seria a utilização de escórias advindas de aciaria, como é o caso do silicato de cálcio, para redução do pH do solo, elevação dos teores de cálcio e magnésio trocáveis, aumento da disponibilidade de fósforo, ferro e manganês, entre outros, levando ao aumento significativo da produtividade de determinadas culturas (KORNDÖRFER et al., 1999; PRADO & FERNANDES, 2000; PRADO et al., 2002; CARVALHO-PUPATTO et al., 2004; RAMOS et al., 2008; MENEGALE, 2012).

A literatura científica informa, mesmo que de forma pouco aprofundada, que a utilização de silício traz benefícios relacionados com tolerância a alguns efeitos prejudiciais às plantas como: decorrentes de agentes químicos (salinidade, toxidez causada por metal pesado, desbalanço de nutrientes) e físicos (acamamento, seca, radiação, alta e baixa temperaturas) (BARBOSA FILHO et al., 2000; ZHU et al., 2004; MA & YAMAJI, 2006; CRUSCIOL et al., 2009; ABDALLA, 2011; PRABAGAR et al., 2011). Alguns autores, como Marschner (1995), dizem que essa geração de resistência, a deficiência hídrica principalmente, esta relacionada com o decréscimo das taxas de evapotranspiração, devido ao acúmulo do silício nos tecidos externos da planta, criando uma dupla camada protetora.

De maneira geral, entender as modificações que podem ocorrer nos tecidos celulares de plantas que estão sofrendo com a deficiência hídrica é de suma importância. Entender também os processos que podem ser modificados pela

utilização de alguns produtos se torna indispensável. Assim, o silício, com suas características já citadas apresenta grande potencial de incremento à tolerância ao estresse.

Autores afirmam que a utilização de silicato de cálcio, como corretivo do solo e fonte de silício para as plantas, altera a estrutura anatômica reduzindo a transpiração (MELO, 2005), elevando o teor de lignina (AMARAL, 2005; BOTELHO, 2005; LIMA, 2006) e modificando, por fim, processos fisiológicos (RAVEN, 1983).

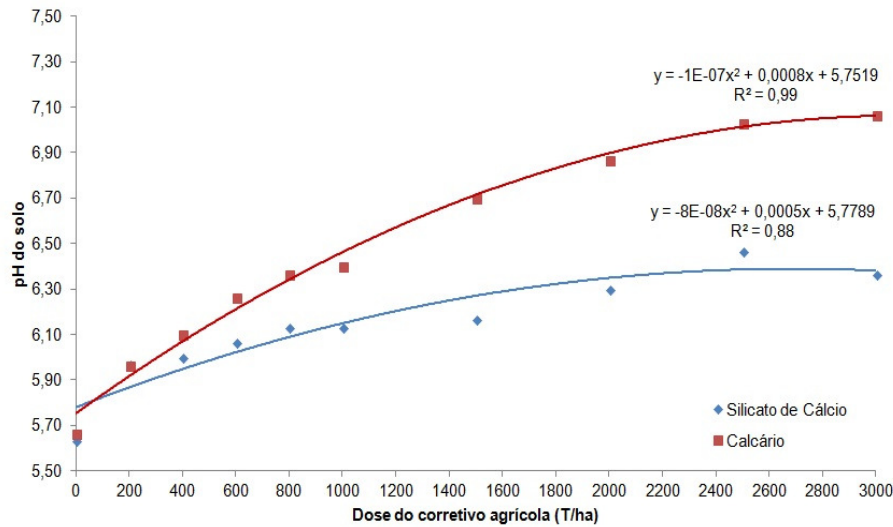
Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo estudar interferência da aplicação de silicato de cálcio nas estruturas anatômicas de café conilon e braquiária, quando cultivados sob regime de deficiência hídrica no solo.

## **Material e Métodos**

O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Centro Universitário Norte do Espírito Santo – CEUNES, da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, localizado no município de São Mateus, ES, com duas culturas, estudadas isoladamente: café conilon (*Coffea canephora*, cv. Incaper Vitória 8142 clone 12) e braquiária (*Brachiaria brizantha*, cv. MG-05 Xarões).

O experimento foi montado em esquema fatorial simples 3 x 2, sendo 3 níveis do fator corretivos agrícolas (calcário, uma vez a dose recomendada; silicato de cálcio, uma vez a dose recomendada; e silicato de cálcio, três vezes a dose recomendada) e 2 níveis do fator déficit hídrico do solo (correspondente a um consumo de 10% e 70% da água disponível no solo), em delineamento experimental de blocos casualizados, com três repetições.

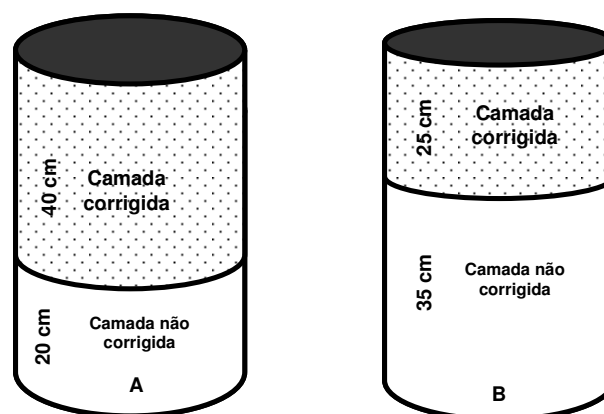
As doses dos corretivos agrícolas foram calculadas a partir das curvas de incubação do solo previamente estabelecidas para cada corretivo (Figura 1). Utilizando-se das equações geradas, empregou-se o uso do pH correspondente ao valor 6,0 para o cálculo das doses de calcário, silicato de cálcio e para o triplo da dose de silicato de cálcio, correspondendo a 325 kg ha<sup>-1</sup>, 480 kg ha<sup>-1</sup> e 1440 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para tais correções empregou-se o uso de calcário dolomítico com PRNT de 91,80% e PN de 98,88% e silicato de cálcio com PRNT de 72,30% e PN de 79,32%, que foram incorporados no solo com auxílio de uma betoneira.



**Figura 1.** Curva de incubação dos corretivos agrícolas no solo estudado.

As unidades experimentais empregadas foram vasos de polipropileno de aproximadamente 60 litros, com dimensões de 0,60 m de altura, 0,35 m de comprimento e 0,30 m de largura. Foi utilizado solo classificado como Argissolo Amarelo (EMBRAPA, 2006), de textura média (franco-arenoso), cujos teores de areia, silte e argila são respectivamente, 780 g kg<sup>-1</sup>, 20 g kg<sup>-1</sup> e 200 g kg<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 1997), coletado na camada de 0,0 a 0,20 m e peneirado em malha de 2,0 mm para utilização como substrato no plantio das culturas.

A correção do solo ocorreu da seguinte forma: para cultura do café conilon o solo foi corrigido na camada superficial com profundidade de 0,40 m, tomando-se como base uma cova de plantio usual (0,40 m x 0,40 m x 0,40 m). Para a cultura da braquiária, a correção do solo foi realizada na profundidade de 0,25 m, baseando-se nas recomendações para essa cultura (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema de preenchimento das unidades experimentais (vasos) para café conilon e mamão (A) e para braquiária (B).

Após a correção do solo, o mesmo permaneceu incubado por 30 dias para o início da reação dos corretivos. Passado o período, foi realizada amostragem do solo em cada unidade experimental, para realização de análise química (EMBRAPA, 1997), obtendo-se  $4 \text{ mg dm}^{-3}$  de P,  $37 \text{ mg dm}^{-3}$  de K,  $0,7 \text{ cmolc dm}^{-3}$  de Mg,  $2 \text{ cmolc dm}^{-3}$  de Ca,  $1,9 \text{ dag kg}^{-1}$  de MO,  $3,1 \text{ cmolc dm}^{-3}$  de CTC efetiva e 60,9% de SB. De acordo com os resultados, foi realizada adubação de plantio para cada espécie. A cultura do café conilon recebeu  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$ . Enquanto que  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $445 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $85 \text{ kg ha}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$  foram às quantidades utilizadas para a cultura da braquiária (PREZOTTI et al., 2007).

Posteriormente à adubação foi realizado o transplântio das mudas de café conilon, que apresentavam aproximadamente 0,20 m, sendo uma muda de café por unidade experimental. Para a cultura da braquiária, foi realizada semeadura direta, distribuindo-se 0,1 gramas de semente por vaso, com valor cultural (VC) igual a 34. 30 dias após a emergência das plantas de braquiária, foi realizado desbaste deixando-se, respectivamente, duas plantas por recipiente.

Os níveis do fator déficit hídrico foram aplicados com as irrigações sendo executadas quando se atingia a umidade mínima estabelecida em função do déficit desejado. O valor da umidade mínima correspondente a cada nível de déficit foi determinado utilizando-se da curva de retenção de água no solo, ajustada pelo modelo de van Genuchten (1980) (Figura 3), determinada no laboratório de Física do Solo do Centro de Ciências Agrárias da UFES em Alegre, ES. Foram utilizados na experimentação como referências 10%, 30%, 50% e 70% da água disponível no solo, ou seja, a água retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, com valores de 16,56% (v/v) e 8,78% (v/v), respectivamente.

$$\theta = 0,035 + \frac{(0,035 - 0,21)}{(1 + (0,9894 \cdot \psi)^{2,7527})^{0,0596}}$$

**Figura 3.** Curva de retenção de água no solo ajustada pelo modelo de van Genuchten (1980).

Durante 180 dias foi realizado acompanhamento diário da umidade do solo, iniciados 30 dias após o plantio das espécies, nas camadas de 0,0 a 0,20 m e 0,21 a 0,40 m. Para isso, o monitoramento foi realizado por meio de sensor com princípio de TDR (modelo Trime-BT da IMKO) e previamente calibrado para o solo do

experimento, inserido em tubo de acesso até a profundidade mediana dos vasos. Para leituras dados de umidade, foi utilizado o programa Pico-Talk, Versão 1.04 (IMKO), instalado em palmtop modelo RPDA 626 (ASUS) (Figura 4).



**Figura 4.** Coleta de dados de umidade do solo (A) e aparelhos utilizados para verificação de umidade do solo (B).

Durante todo o tempo de experimentação os tratamentos fitossanitários e adubações de manutenção das culturas seguiram recomendação para o estado do Espírito Santo.

Aos 210 dias, fim do período de cultivo das plantas, foram coletadas três folhas jovens, localizadas no terço médio e em locais opostos nas plantas. Em laboratório, retirou-se uma amostra do terço médio de cada folha, com forma retangular, e as fixou em álcool etílico 70%, para preservação e transporte do material até o Núcleo de Microscopia e Microanálise da Universidade Federal de Viçosa (UFV/MG), onde foram realizadas as determinações. Com solução de glutaraldeído (2,5%), paraformaldeído (4%) em tampão cacodilato de sódio pH 7,2 acrescido de cloreto de cálcio 5 mM, fixou-se o material novamente. Posteriormente, os mesmos foram lavados com tampão cacodilato e desidratados em série etílica crescente e incluídas em metacrilato (Historesin, Leica Instruments, Heidelberg, Alemanha). Cortes transversais, com 5  $\mu$ m de espessura, realizados em micrótomo rotativo de avanço automático (Modelo RM2155, Leica Microsystems Inc., Deerfield, USA) foram corados em azul de Toluidina/pH 4,0 (O'Brian e McCully, 1981) e



montados em conjunto lâmina/lamínula com água destilada, não sendo necessária a montagem em Permout. As observações e documentação fotográfica foram realizadas utilizando-se microscópio de luz (Modelo Olympus AX70TRF, Olympus Optical, Tóquio, Japão), com sistema U-Photo. Empregando-se o software ANATI QUANTI, Versão 2.0 para Windows® (AGUIAR et al., 2007), analisaram-se os tecidos de acordo com cada planta.

Para cultura do café conilon, foram observadas as espessuras da epiderme adaxial, da epiderme abaxial, do parênquima paliçádico e do parênquima lacunoso da folha. Já para cultura da braquiária, o estudo foi feito para espessura dos elementos de vaso 1 e 2, do primeiro grupo de células buliformes, total da nervura central, da lâmina vizinha ao feixe de maior porte e o diâmetro do xilema encontrado com feixe de maior porte.

Os dados foram submetidos às análises de variância, usando os níveis de significância de 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, e análise de regressão. Às médias dos efeitos dos corretivos agrícolas foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para os níveis de déficit hídrico no solo, os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste 't' e adotando o nível de 5% de probabilidade, bem como no coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e no fenômeno biológico.

## **Resultados e Discussão**

### **Cultura do Café Conilon**

A espessura da epiderme inferior de plantas de *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12 (café conilon) foi significativamente maior nos tratamentos onde se utilizou a correção do solo com silicato de cálcio para ambos os níveis de déficit hídrico no solo. Também é maior a espessura das células da epiderme abaxial no tratamento utilizando a dose recomendada de silicato de cálcio no menor nível de déficit hídrico, ou seja, com irrigações sendo realizadas quando haviam sido consumidos 10% da água útil do solo (Tabela 1 e Figura 1).

Os mesmos resultados podem ser observados para a espessura da epiderme superior ou adaxial, quando realizada análise entre os corretivos agrícolas utilizados para cada nível de déficit hídrico. Quando comparados os níveis de déficit

hídrico, observa-se que utilizando o triplo da dose recomendada de silicato de cálcio, obtêm-se células mais espessas da epiderme (Tabela 1 e Figura 1).

Provavelmente esse engrossamento das epidermes esta sendo conferido pela deposição de silício nestas regiões (MOTOMURA et al., 2000; HOSSAIN et al., 2002; ALBUQUERQUE & NEVES, 2004)., e visto que a acumulação do silício é feita principalmente nos órgãos de transpiração (epidermes e estômatos), criando uma camada sílica-celulósica (MA & YAMAJI, 2006). Dessa forma o desenvolvimento da planta é alterado de forma que esta camada reduz a evapotranspiração durante todo o ciclo, reduzindo o consumo de água.

Diferente dos resultados encontrados, Grisi et al. (2008), estudando *Coffea arabica*, cultivares Catuaí e Siriema, em cultivo irrigado e não irrigado, não observou diferença estatística entre os tratamentos para espessura, tanto da epiderme abaxial quanto da adaxial. Resposta semelhante foi encontrada por Ramiro et al. (2004), quando estudando café arábica.

A espessura do parênquima paliçádico, quando analisados os níveis dos corretivos agrícolas no solo, apresenta menores valores quando utilizado calcário no nível de 10% da água disponível no solo, resultado este que se inverte quando observado 70% de déficit hídrico (Tabela 1). De forma semelhante, o parênquima lacunoso segue a mesma tendência.

**Tabela 1.** Variáveis anatômicas, em função de diferentes corretivos agrícolas, obtidos através de microscopia de luz em plantas de *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12

Espessura da epiderme inferior ( $\mu\text{m}$ )		
Corretivos Agrícolas	Níveis de Déficit Hídrico no Solo	
	10%	70%
Calcário	15,6 Ab	16,5 Ab
Silicato de Cálcio	20,6 Aa	17,4 Bb
3x Silicato de Cálcio	19,5 Aa	21,0 Aa
CV (%)	11,27	
Espessura da epiderme superior ( $\mu\text{m}$ )		
Calcário	19,7 Ab	19,7 Ab
Silicato de Cálcio	20,9 Aab	20,8 Ab
3x Silicato de Cálcio	23,0 Ba	29,0 Aa
CV (%)	9,71	
Espessura do parênquima lacunoso ( $\mu\text{m}$ )		
Calcário	126,6 Bb	152,2 Aa
Silicato de Cálcio	133,4 Ab	142,6 Aab
3x Silicato de Cálcio	155,8 Aa	136,5 Bb
CV (%)	10,01	
Espessura do parênquima paliçádico ( $\mu\text{m}$ )		
Calcário	81,3 Ab	91,4 Aa
Silicato de Cálcio	91,1 Aab	69,2 Bb
3x Silicato de Cálcio	95,7 Aa	70,6 Bb
CV (%)	15,70	

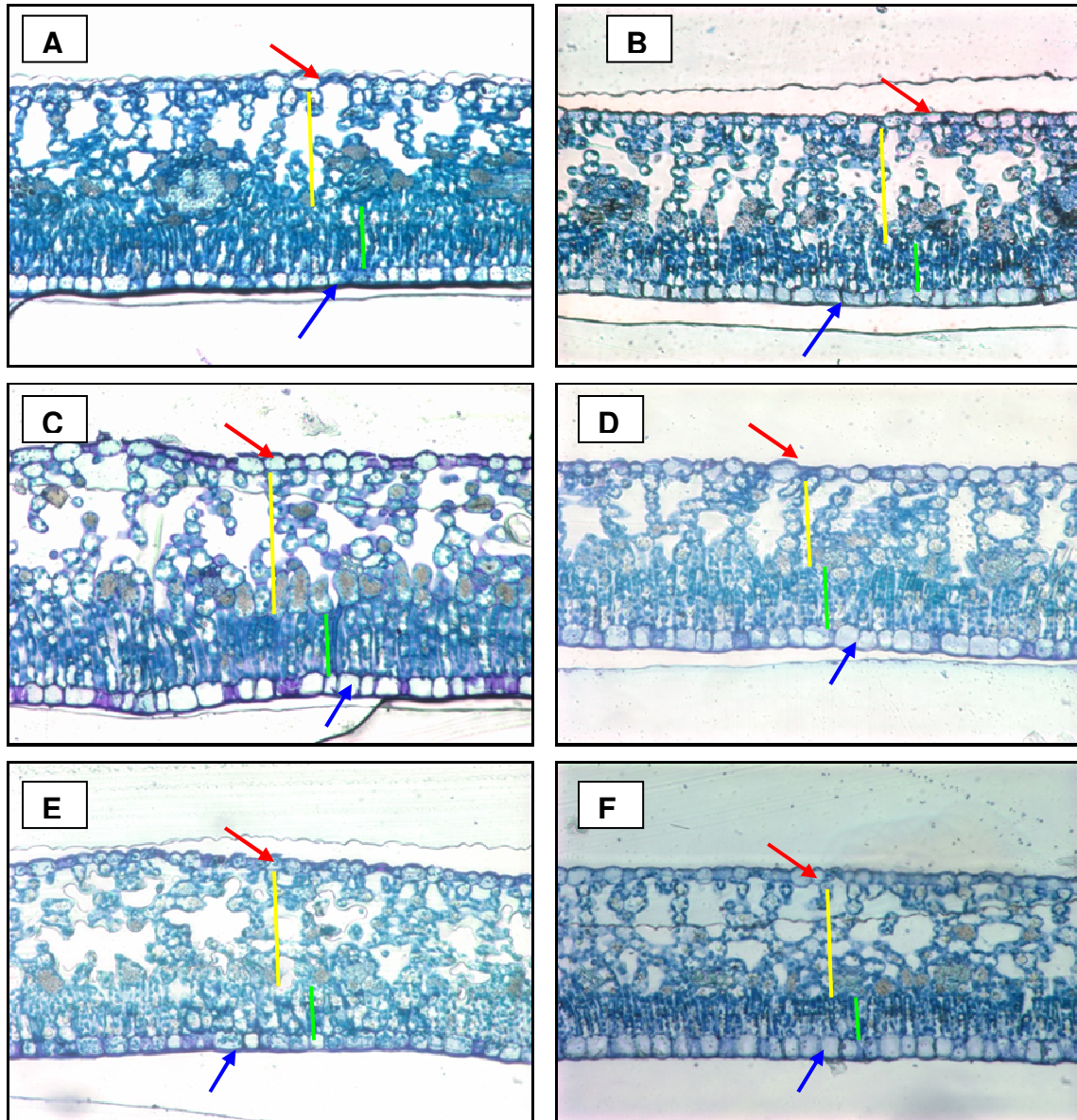
\* Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si segundo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Livramento et al. (2008), observaram que a utilização de silício, em aplicações via solo, não alterou o tamanho dos tecidos, parênquima paliçádico e lacunoso, quando trabalhando com café arábica, resultados estes que discordam com os observados na Tabela 1.

Quanto aos efeitos dos níveis de déficit hídrico, nota-se que quando utilizado calcário, as plantas cultivadas sob 70% de déficit apresentaram o parênquima lacunoso mais espesso. Já quando se utilizada três vezes a dose recomendada de

silicato de cálcio os resultados se invertem ao exposto anteriormente, apresentando assim, o nível de 70% menor tamanho do tecido (Figura 1).

Da mesma forma, o parênquima paliçádico apresentou diferença significativa entre os níveis de déficit hídrico quando utilizados corretivos silicatados, de forma que, para 10% de deficiência hídrica, a dimensão do tecido foi maior (Figura 1).



**Figura 3.** Espessura dos tecidos de folhas da *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12 quando tratados com (A) Calcário a 10% de déficit hídrico, (B) Calcário a 70% de déficit hídrico, (C) Silicato de cálcio a 10% de déficit hídrico, (D) Silicato de cálcio a 70% de déficit hídrico, (E) 3x Silicato de cálcio a 10% de déficit hídrico e (F) 3x Silicato de cálcio a 70% de déficit hídrico. Símbolo — refere-se à epiderme superior; — parênquima lacunoso; — parênquima paliçádico; e — epiderme inferior.

Ramiro et al. (2004), não encontraram diferença significativa para a espessura dos parênquimas paliçádico e lacunoso nas plantas de café arábica sob influência de déficit hídrico, sendo este resultado, diferente dos observados na Tabela 1 e Figura 1.

De maneira geral, os resultados encontrados são diferentes daqueles normalmente vistos na literatura. Carvalho et al. (2001), caracterizando morfologicamente plantas de café conilon em condições normais de cultivo, apresentaram resultados muito inferiores de espessura dos parênquimas paliçádico e lacunoso, 5,50  $\mu\text{m}$  e 12,80  $\mu\text{m}$ , respectivamente, aos encontrados, em média, para os corretivos calcário, 8,63  $\mu\text{m}$  e 13,94  $\mu\text{m}$ ; silicato de cálcio, 8,01  $\mu\text{m}$  e 13,80  $\mu\text{m}$ ; e o triplo da dose de silicato de cálcio, 8,31  $\mu\text{m}$  e 14,61  $\mu\text{m}$  (Tabela 1). Essa divergência nos resultados pode estar relacionada com a ação dos corretivos silicatados, principalmente sobre o parênquima lacunoso, para os tratamentos onde foi aplicado o silicato de cálcio, e uma possível resposta da planta ao déficit hídrico nos tratamentos com calcário.

### **3.3.5.2. Cultura da braquiária**

Analisando-se os tecidos de *Brachiaria brizantha* cv. MG-5 nota-se que espessura da lâmina vizinha ao feixe de maior porte, diâmetro do xilema no feixe de maior porte, elemento de vaso 1 e 2, primeiro grupo de células buliformes e espessura total da nervura apresentaram diferença significativa somente para a interação entre os corretivos agrícolas e os níveis de déficit hídrico no solo.

Os resultados mostram que para espessura da lâmina vizinha ao feixe de maior porte (bainha parenquimática), calcário apresentou menores valores, tanto na comparação entre os níveis de déficit hídrico quanto para os corretivos agrícolas (Tabela 2, Figura 4). Segundo Kramer (1983), plantas sob influência de déficit hídrico, mesmo que reduzido, sofrem ação deste, modificando suas estruturas anatômicas, fisiológicas e bioquímicas, com intensidade que depende do tipo de planta e do grau de duração do déficit.

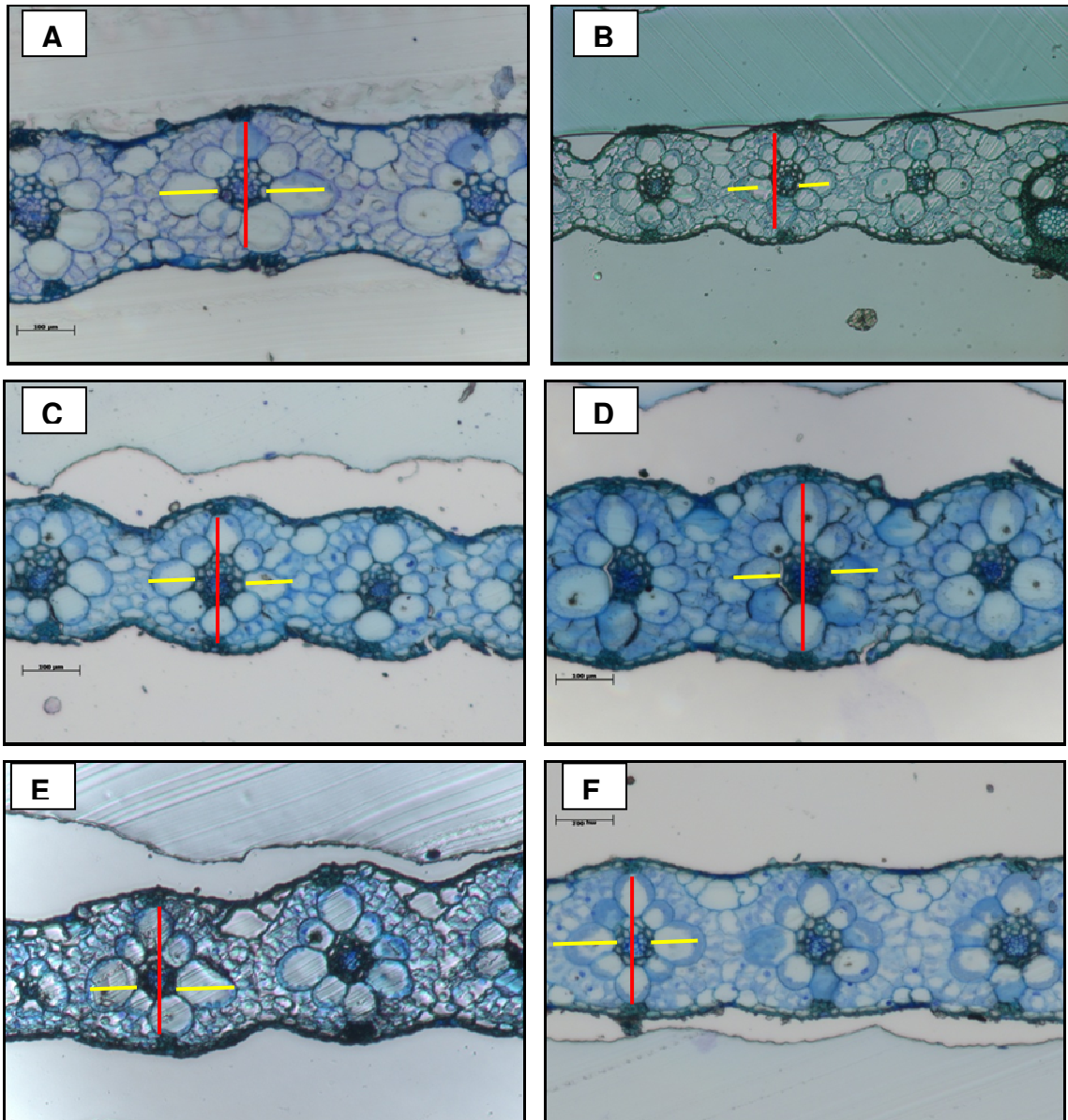
A espessura da lâmina vizinha ao feixe de maior porte, ou células da bainha parenquimática, caracterizam as plantas C4, pela separação espacial entre as fases de fixação e redução do  $\text{CO}_2$ , recebendo a denominação de anatomia Kranz. Essa distribuição de células em torno do feixe vascular pode apresentar influência sobre a resistência da planta a certos estresses, incluindo o estresse hídrico.

**Tabela 2.** Características anatômicas, em função de diferentes corretivos agrícolas, obtidos através de microscopia de luz em plantas de *Brachiaria brizantha* cv. MG-5.

Espessura da lâmina vizinha ao feixe de maior porte ( $\mu\text{m}$ )		
Corretivos Agrícolas	Níveis de Déficit Hídrico no Solo	
	10%	70%
Calcário	74,0 Aa	42,6 Bb
Silicato de Cálcio	77,8 Aa	80,3 Aa
3x Silicato de Cálcio	81,9 Aa	82,4 Aa
CV (%)	11,08	
Diâmetro do xilema no feixe de maior porte ( $\mu\text{m}$ )		
Calcário	302,9 Aab	154,8 Bc
Silicato de Cálcio	290,1 Bb	304,9 Ab
3x Silicato de Cálcio	315,6 Aa	345,7 Aa
CV (%)	6,56	
Elemento de vaso 1 ( $\mu\text{m}$ )		
Calcário	67,3 Ab	40,9 Bb
Silicato de Cálcio	78,8 Aa	70,9 Ba
3x Silicato de Cálcio	80,3 Aa	69,1 Ba
CV (%)	11,36	
Elemento de vaso 2 ( $\mu\text{m}$ )		
Calcário	63,2 Ab	42,6 Bb
Silicato de Cálcio	74,1 Aa	72,1 Aa
3x Silicato de Cálcio	80,5 Aa	72,8 Aa
CV (%)	15,00	
Primeiro grupo de células buliformes ( $\mu\text{m}$ )		
Calcário	156,3 Aa	66,6 Bb
Silicato de Cálcio	120,4 Ab	134,6 Aa
3x Silicato de Cálcio	158,7 Aa	119,0 Ba
CV (%)	13,38	
Espessura total da nervura ( $\mu\text{m}$ )		
Calcário	1060,2 Ab	569,3 Bc
Silicato de Cálcio	1095,0 Bb	1179,7 Aa
3x Silicato de Cálcio	1379,6 Aa	962,1 Bb
CV (%)	5,36	

\* Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na coluna e minúscula na linha, não diferem entre si segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade.





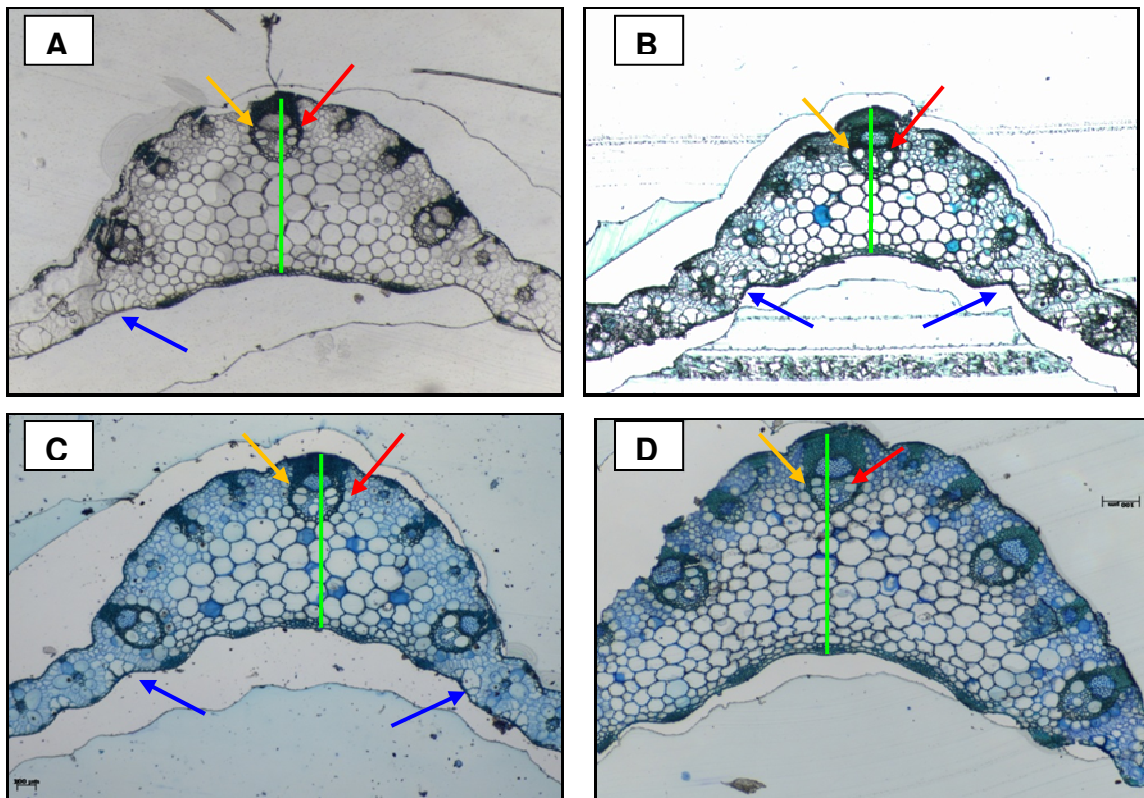
**Figura 4.** Espessura dos tecidos de folhas da *Brachiaria brizantha* cv. Xaráes quando tratados com (A) Calcário a 10% de déficit hídrico, (B) Calcário a 70% de déficit hídrico, (C) Silicato de cálcio a 10% de déficit hídrico, (D) Silicato de cálcio a 70% de déficit hídrico, (E) 3x Silicato de cálcio a 10% de déficit hídrico e (F) 3x Silicato de cálcio a 70% de déficit hídrico. Símbolo — refere-se à diâmetro de vaso no feixe de maior porte e, — espessura da lâmina vizinha ao feixe de maior porte (bainha parenquimática).

Já para o diâmetro do xilema, no feixe de maior porte, pode-se notar tendência crescente quando utilizados os corretivos silicatados, para os dois manejos de irrigação. Da mesma forma, os elementos de vaso 1 e 2 apresentaram resultados semelhantes, de forma que os silicatos proporcionaram maiores

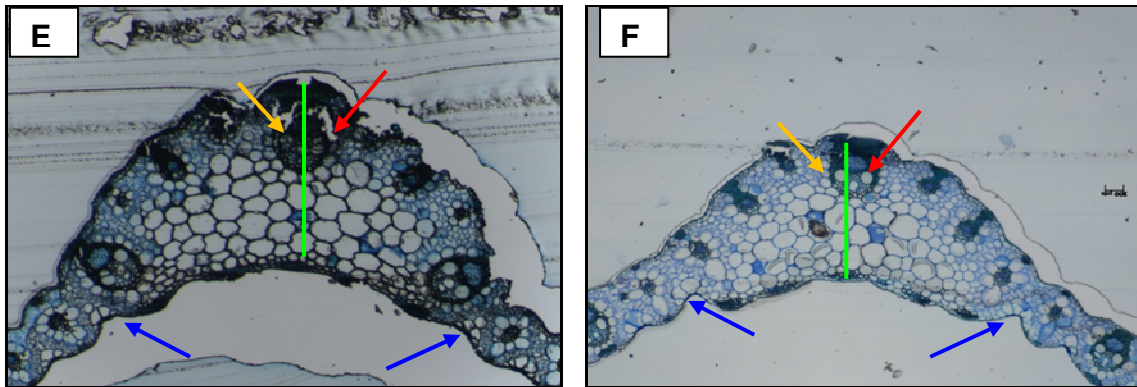
espessuras em relação às plantas tratadas com calcário. Já para os níveis de deficiência hídrica, as plantas sob 70% da água disponível exibiram menores valores (Tabela 2, Figura 5).

O primeiro grupo de células buliformes e a espessura total da nervura mostraram maiores valores nos tecidos para as plantas quando feita correção do solo com silicato de cálcio. Para espessura total da nervura, vale ressaltar que dentro dos níveis de déficit hídrico, calcário e o triplo da dose de silicato de cálcio obtiveram valores superiores (Tabela 2, Figura 5).

As células buliformes estão relacionadas com o enrolamento da folha em situação de deficiência hídrica, a fim de fazer com que as folhas não fiquem tão expostas, diminuindo a perda de água por transpiração (MACHADO et al., 2008).







**Figura 5.** Espessura dos tecidos de folhas da *Brachiaria brizantha* cv. Xaráes quando tratados com (A) Calcário a 10% de déficit hídrico, (B) Calcário a 70% de déficit hídrico, (C) Silicato de cálcio a 10% de déficit hídrico, (D) Silicato de cálcio a 70% de déficit hídrico, (E) 3x Silicato de cálcio a 10% de déficit hídrico e (F) 3x Silicato de cálcio a 70% de déficit hídrico. O Símbolo — refere-se ao elemento de vaso 1; — elemento de vaso 2; — espessura total da nervura; e — células buliformes.

## Conclusões

1. As plantas de café conilon cultivadas sob déficit hídrico de 10% da água útil no solo e com os corretivos silicatados apresentaram estruturas anatômicas mais desenvolvidas;
2. Os corretivos silicatados determinaram maior crescimento das estruturas das plantas de braquiária nos dois déficits hídricos estudados;
3. Ambas as espécies obtiveram resultados positivos quanto à tolerância ao déficit hídrico, quando estudadas suas estruturas anatômicas.

## Referências Bibliográficas

ABDALLA, M.M. Beneficial effects of diatomite on growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v.2, p.207-220, 2011.

AGUIAR, T.V.; SANT'ANNA-SANTOS, B.F.; AZEVEDO, A.A.; FERREIRA, R.S. ANATI QUANTI: Software de análises quantitativas para estudos em Anatomia Vegetal. **Planta Daninha**, v.25, p.649 - 659, 2007.

AMARAL, D.R. **Indução de resistência em cafeeiro contra *Cercospora coffeicola* por eliciadores abióticos e extratos vegetais.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras – UFL, 2005. 96p.

BARBOSA FILHO, M.P. et al. Importância do silício para a cultura do arroz. **Informe Agrônomo**, v.89, p.1-8, 2000.

BOTELHO, D.M.S.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J.G. de.; BOTELHO, C.E.; SOUZA, P.E. Intensidade da cercosporiose em mudas de cafeeiro em função de fontes e doses de silício. **Fitopatologia Brasileira**, v.30, p.582-588, 2005.

CARVALHO, L.M. de; SILVA, E.A.M. da; AZEVEDO, A.A.; MOSQUIM, P.R. CECON, P.R. Aspectos morfofisiológicos das cultivares de cafeeiro Catuaí-Vermelho e Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.411-416, 2001.

CARVALHO, L.M.; SILVA, E.A.M.; AZEVEDO, A.A.; MOSQUIM, P.R.; CECON, P.R. Aspectos morfofisiológicos das cultivares de cafeeiro catuaí-Vermelho e Conilon. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.411-416, 2001.

CARVALHO-PUPATTO, J.G.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1213-1218, 2004.

CRUSCIOL C.A.C. et al. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science**, v.49, p.949-954, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 2.ed. Brasília, 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos.** 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS. Documento, 1).

EUCLYDES, R.F. SAEG (Sistema para análise estatística e genética) **Manual de utilização do programa SAEG.** Viçosa: UFV, 2005.

FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A. de; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; MUNER, L.H.D. **Café Conilon.** Vitória, ES: Incaper, 2007. 702p.

GRISI, F.A.; ALVES, J.D.; CASTRO, E.M.; OLIVEIRA, C.; BIAGIOTTI, G.; MELO, L.A. Avaliações anatômicas foliares em mudas de café 'Catuaí' e 'Siriema' submetidas ao estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**. v.36, n.6, p.1730-1736, 2008.

KORNDÖRFER, G.H. Existe alguma relação entre Si e Plantio Direto? In: **Direto no Cerrado**, APDC - Associação de Plantio Direto no Cerrado, 1999.

KRAMER, P. **Water relations of plants.** New York: Academic Press, 1983.489 p.

LIMA, L. M. de. **Manejo da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi* Sydow & P. Sydow) com fungicidas e silício**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras – UFL, 2006. 81 p.

LIVRAMENTO, D. A.; NETO, E. G. G.; ALVES, J. D.; BARTHOLO, G. F. Aplicação de silicatos de cálcio e magnésio e seus efeitos na produtividade e em alguns fatores de produção de cafeeiros. 34<sup>º</sup> Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 34<sup>º</sup>, Caxambu, **Anais...**, p. 172-173, 2008.

MA, J.F. & YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends Plant Science**, v.11, p.342-397, 2006.

MACHADO, A.F.L.; MEIRA, R.M.S.; FERREIRA, L.R. FERREIRA, F.A.; TUFFI SANTOS, L.D.; FIALHO, C.M.T.; MACHADO, M.S. Caracterização anatômica de folha, colmo e rizoma de *Digitaria insularis*. **Planta Daninha**, v.26, p.1-8, 2008.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London, Academic Press, 1995, 920p.

MELO, S.P. **Silício e fósforo para estabelecimento de capim-Marandú num Latossolo Vermelho-Amarelo**. Tese de doutorado, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – ESALQ, 2005.

MENEGALE, M.L. de C. **Resposta de plantas de cobertura a doses de silício e estresse hídrico**. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu – SP, 2012, 82p.

O'BRIAN, P.P., MCCULLY, M.E. **The study of plants structure principles and select methods**. Melbourne: Australia Termarcarphi Pty Ltda, 1981, 45p.

PRABAGAR, S., HODSON M.J., EVANS, D.E. Silicon amelioration of aluminium toxicity and cell death in suspension cultures of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). **Environmental and Experimental Botany**, v.70, p.266-276, 2011.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Eficiência da escória de siderurgia em areia quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar. **STAB**, v.18, n.04, 2000.

PRADO, R.M; COUTINHO, E.L.M.; ROQUE, C.G.; VILLAR, M.L.P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alfaca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.539-546, 2002.

PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5<sup>ª</sup> Aproximação**. Vitória, ES: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

RAMIRO, D.A.; GUERREIRO-FILHO, O.; VOLTAN, R.B.Q.; MATTHIESEN, S.C. Anatomical characterization of leaves from coffee plants resistant and susceptible to leaf miner. **Bragantia** v.63, p.363-367, 2004.

RAMOS, L.A.; KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia** , v.67, p.751-757, 2008.

RAVEN, J.A. The transport and function of silicon in plants. **Biological Reviews of the Cambridge Philosophical Society**, v.58, p.179-207, 1983.

van GENUCHTEN, M.T. A Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

ZHU, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN Q.; YUET, J. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, v.167, p.527-533, 2004.

## 2.4. ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E NUTRIÇÃO DE CAFÉ CONILON E BRAQUIÁRIA EM FUNÇÃO DO USO DE CORRETIVOS E DE DÉFICIT HÍDRICO

### Resumo

O emprego de resíduos industriais, provenientes de escórias de aciaria, constituídas por silicatos de cálcio e de magnésio apresentam qualidade como corretivos de acidez do solo e desempenham papel como fertilizante por de apresentarem macronutrientes (cálcio e magnésio), micronutrientes (ferro, manganês, zinco, cobre e molibdênio) e silício, este último considerado um elemento benéfico para as plantas, inclusive com potencial para incrementar a tolerância das plantas ao déficit hídrico no solo. Dessa forma, este trabalho teve como objetivo avaliar alguns atributos químicos do solo e a nutrição de plantas de café conilon e braquiária, cultivadas em solo corrigido com silicato de cálcio e calcário, sob déficit hídrico no solo. O experimento, conduzido em casa-de-vegetação, contou com duas culturas, estudadas isoladamente: cafeeiro (*Coffea canephora*, cultivar Incaper Vitória 8142 clone 12); e braquiária (*Brachiaria brizantha*, cultivar MG-05 Xaráes), em esquema fatorial 3 x 4 x 2, sendo o primeiro fator 3 corretivos agrícolas (calcário, uma vez a dose recomendada; silicato de cálcio, uma vez a dose recomendada; e silicato de cálcio, três vezes a dose recomendada) e o segundo 4 níveis de déficit hídrico no solo (correspondente a um consumo de 10%, 30%, 50% e 70% da água disponível no solo) e 2 profundidades de amostragem do solo (0,0-0,20 m e 0,21-0,40 m), no delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. Foi realizada análise de pH, do teor P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Na, MO, Fe, Cu, Zn, Mn, SB, t, T, V e Si no solo, e do teor de P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn e Si nas folhas de braquiária. Os resultados mostraram que a utilização de silicato de cálcio afetou positivamente a fertilidade do solo onde se cultivou café conilon e não surtiu efeito sobre os solos com cultivo de braquiária. Os teores foliares de alguns nutrientes, em braquiária, sofreram influência do déficit hídrico e pela utilização de silicato de cálcio.

**Palavras-chave:** *Coffea canephora*, *Brachiaria brizantha*, silicato de cálcio, água no solo, fertilidade do solo.

## 2.4. CHEMICAL ATTRIBUTE OF THE SOIL AND NUTRITION OF CONILLON COFFEE AND BRACHIARIA IN FUNCTION OF THE USE OF CORRECTIVES AND HYDRIC DEFECITS

### Abstract

Acid soils and periods of hydric deficit restrict the agricultural production in many regions of Brazil. Furthermore, the hydric availability is primarily basic to reach productions that are sustainable, whereas, even in a treated and fertilized soil, without water, the plants can't adequately develop. The usage of industrial waste originating from still mill's slag constituted by calcium silicate and of magnesium present quality like acidity corrective in the soil perform a part as fertilizer for presenting micronutrients (calcium and magnesium) and macronutrient (iron, manganese, zinc, copper and molybdenum) and silicate, this last is considered an beneficent element to the plants. Thereby, this work had as objective evaluate some chemical attributes in the soil and the nutrition of conillon coffee plants and brachiaria, cultivated in treated soil with calcium silicate and calcareous, under a hydric soil deficit. The experiment counted with two vegetable species, singly studied: *Coffea canephora*, cultivate Incaper Vitória 8142 clone 12 - conilon coffee; and *Brachiaria Brizantha*, cultivate MG-05 Xaráes- brachiaria, in a simple factorial scheme 3 x 4 x 2, being three levels of the factor agricultural corrective (calcareous, recommended dosage is once) and four levels of the hydric deficit factor in the soil (10%, 30%, 50% and 70% of available water in the soil) and 2 sampling depths in the soil (0,0-0,20 m and 0,21-0,40 m), in randomized blocks, with three repetitions. It was accomplished the analysis of the content pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Na, MO, Fe, Cu, Zn, Mn, SB, t, T, V and Si in the soil, and the content of P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn and Si on the brachiaria's leaf. The results showed that the utilization of calcium silicate affected positively the fertility of the soil where it was cultivated conillon coffee and it didn't have the desired effect on the soils cultivated by brachiaria. The foliar contents of some nutrients, in brachiaria, were affected by the hydric deficit and by the utilization of calcium silicate.

**Key words:** *Coffea canephora*, *Brachiaria brizantha*, calcium silicate, water on the soil, soil fertility.

## Introdução

No Brasil cerca de 30% da produção de café é derivada da espécie *Coffea canephora*, denominada de café robusta, sendo o Espírito Santo, maior produtor nacional da espécie (BRAGANÇA et al., 2001).

Solos ácidos e períodos de déficit hídrico (CASTRO, 2008), comuns em regiões tropicais, limitam a produção agrícola em diversas regiões do Brasil. Além disso, a disponibilidade hídrica é básica para se alcançar produções que sejam sustentáveis, pois, mesmo num solo corrigido e fertilizado, sem água, as plantas não conseguem se desenvolver adequadamente, e, dependendo da espécie, as perdas podem ser totais.

A aplicação dos corretivos carbonatos de cálcio ( $\text{CaCO}_3$  - calcita) e de magnésio ( $\text{MgCO}_3$  - dolomita), prática consagrada para elevar o pH, teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  e saturação por bases e reduzir  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$  trocáveis no solo, apesar de empregada, ainda não se constitui medida de uso generalizado entre os agropecuaristas (NOLLA & ANGHINONI, 2004).

Entretanto uma prática que vem sendo adotada é o emprego de resíduos industriais provenientes de escórias de aciaria constituídas por silicatos de cálcio ( $\text{CaSiO}_3$ ) e de magnésio ( $\text{Mg}_2\text{SiO}_3$ ), que se comportam de maneira semelhante aos calcários (PRADO & FERNANDES, 2000). Estas escórias, além de apresentarem qualidade como corretivos de acidez do solo desempenham papel como fertilizante por de apresentarem macronutrientes (cálcio e magnésio), micronutrientes (ferro, manganês, zinco, cobre e molibdênio) e silício, este último considerado um elemento benéfico para as plantas (KORNDÖRFER et al., 1999; PRADO et al., 2002).

Diversos estudos têm demonstrado que os silicatos de Ca e Mg podem ser utilizados como corretivos da acidez do solo e como fonte de Si (CARVALHO-PUPATTO et al., 2004; RAMOS et al., 2006; PULZ et al., 2008).

O Si tem sido relacionado à redução de efeitos prejudiciais decorrentes de agentes químicos (salinidade, toxidez causada por metal pesado, desbalanço de nutrientes) e físicos (acamamento, seca, alta e baixa temperaturas) (ZHU et al., 2004; MA & YAMAJI, 2006). Muitos desses efeitos benéficos são atribuídos à sua deposição nas paredes celulares de vários órgãos das plantas, além de outros mecanismos (MA, 2004; MA & YAMAJI, 2006).

Em estudo realizado objetivando-se avaliar estresses causados por temperaturas extremas, veranicos, metais pesados ou tóxicos, por exemplo, tiveram seus efeitos reduzidos com o uso do Si (BARBOSA FILHO et al., 2000; CRUSCIOL et al., 2009; ABDALLA, 2011; PRABAGAR et al., 2011).

Aumentos de produtividade devido ao manejo integrado e sustentável da aplicação de Si na cultura do arroz também foram evidenciados por Alvarez e Datnoff (2001), os quais concluíram que os ganhos obtidos com a aplicação deste elemento ultrapassam os custos de aplicação, tornando-se, também, uma prática viável economicamente.

Além disso, o fornecimento de Si poderia acarretar maior estabilidade produtiva, em razão da maior tolerância ao estresse hídrico, uma vez que a quase totalidade da produção de grãos está situada em áreas com ocorrência de veranicos, principalmente na região dos cerrados. Nota-se ainda que a maioria dos trabalhos realizados demonstram apenas o efeito da aplicação de corretivos na nutrição e produtividade das culturas, sem, no entanto, verificar qual componente da produção foi alterado, visto que estes podem ser alterados por condições climáticas, fertilidade do solo e práticas agrícolas, refletindo na produtividade de grãos (CASTRO, 2009).

Dessa forma, esse trabalho teve como objetivo estudar interferência da aplicação de silicato de cálcio e do déficit hídrico aplicado ao solo nos atributos químicos do solo e nutrição de plantas de café conilon e braquiária.

## **Material e Métodos**

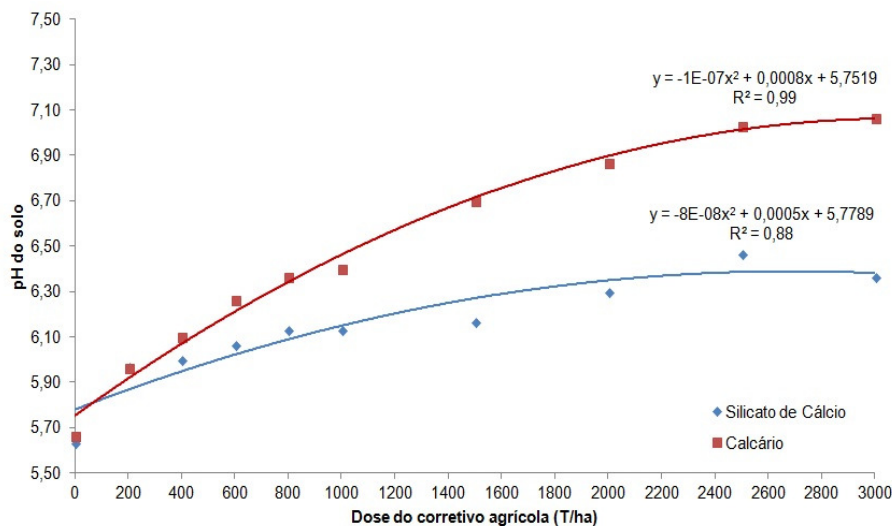
O experimento foi conduzido em casa-de-vegetação do Centro Universitário Norte do Espírito Santo – CEUNES, da Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, localizado no município de São Mateus, ES, com duas culturas, estudadas isoladamente: café conilon (*Coffea canephora*, cv. Incaper Vitória 8142 clone 12) e braquiária (*Brachiaria brizantha*, cv. MG-05 Xaráes).

O experimento foi montado em esquema fatorial simples 3 x 4 x 2, sendo 3 níveis do fator corretivos agrícolas (calcário, uma vez a dose recomendada; silicato de cálcio, uma vez a dose recomendada; e silicato de cálcio, três vezes a dose recomendada), 4 níveis do fator déficit hídrico do solo (correspondente a um consumo de 10%, 30%, 50% e 70% da água disponível no solo) e 2 níveis do fator



profundidade de amostragem do solo, em delineamento experimental de blocos casualizados, com três repetições.

As doses dos corretivos agrícolas foram calculadas a partir das curvas de incubação do solo previamente estabelecidas para cada corretivo (Figura 1). Utilizando-se das equações geradas, empregou-se o uso do pH correspondente ao valor 6,0 para o cálculo das doses de calcário, silicato de cálcio e para o triplo da dose de silicato de cálcio, correspondendo a 325 kg ha<sup>-1</sup>, 480 kg ha<sup>-1</sup> e 1440 kg ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Para tais correções empregou-se o uso de calcário dolomítico com PRNT de 91,80% e PN de 98,88% e silicato de cálcio com PRNT de 72,30% e PN de 79,32%, que foram incorporados no solo com auxílio de uma betoneira.

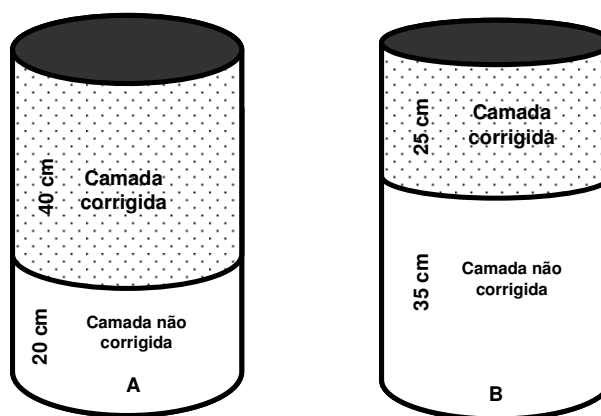


**Figura 1.** Curva de incubação dos corretivos agrícolas no solo estudado.

As unidades experimentais empregadas foram vasos de polipropileno de aproximadamente 60 litros, com dimensões de 0,60 m de altura, 0,35 m de comprimento e 0,30 m de largura. Foi utilizado solo classificado como Argissolo Amarelo (EMBRAPA, 2006), de textura média (franco-arenoso), cujos teores de areia, silte e argila são respectivamente, 780 g kg<sup>-1</sup>, 20 g kg<sup>-1</sup> e 200 g kg<sup>-1</sup> (EMBRAPA, 1997), coletado na camada de 0,0 a 0,20 m e peneirado em malha de 2,0 mm para utilização como substrato no plantio das culturas.

A correção do solo ocorreu da seguinte forma: para cultura do café conilon o solo foi corrigido na camada superficial com profundidade de 0,40 m, tomando-se como base uma cova de plantio usual (0,40 m x 0,40 m x 0,40 m). Para a cultura da

braquiária, a correção do solo foi realizada na profundidade de 0,25 m, baseando-se nas recomendações para essa cultura (Figura 2).



**Figura 2.** Esquema de preenchimento das unidades experimentais (vasos) para café conilon e mamão (A) e para braquiária (B).

Após a correção do solo, o mesmo permaneceu incubado por 30 dias para o início da reação dos corretivos. Passado o período, foi realizada amostragem do solo em cada unidade experimental, para realização de análise química (EMBRAPA, 1997), obtendo-se  $4 \text{ mg dm}^{-3}$  de P,  $37 \text{ mg dm}^{-3}$  de K,  $0,7 \text{ cmolc dm}^{-3}$  de Mg,  $2 \text{ cmolc dm}^{-3}$  de Ca,  $1,9 \text{ dag kg}^{-1}$  de MO,  $3,1 \text{ cmolc dm}^{-3}$  de CTC efetiva e 60,9% de SB. De acordo com os resultados, foi realizada adubação de plantio para cada espécie. A cultura do café conilon recebeu  $10 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $40 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $20 \text{ kg ha}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$ . Enquanto que  $90 \text{ kg ha}^{-1}$  de N,  $445 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  e  $85 \text{ kg ha}^{-1}$   $\text{K}_2\text{O}$  foram às quantidades utilizadas para a cultura da braquiária (PREZOTTI et al., 2007).

Posteriormente à adubação foi realizado o transplântio das mudas de café conilon, que apresentavam aproximadamente 0,20 m, sendo uma muda por unidade experimental. Para a cultura da braquiária, foi realizada semeadura direta, distribuindo-se 0,1 gramas de semente por vaso, com valor cultural (VC) igual a 34. 30 dias após a emergência das plantas de braquiária, foi realizado desbaste deixando-se, respectivamente, duas plantas por recipiente.

Os níveis do fator déficit hídrico foram aplicados com as irrigações sendo executadas quando se atingia a umidade mínima estabelecida em função do déficit desejado. O valor da umidade mínima correspondente a cada nível de déficit foi determinado utilizando-se da curva de retenção de água no solo, ajustada pelo modelo de van Genuchten (1980) (Figura 3), determinada no laboratório de Física do

Solo do Centro de Ciências Agrárias da UFES em Alegre, ES. Foram utilizados na experimentação como referências 10%, 30%, 50% e 70% da água disponível no solo, ou seja, a água retida entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, com valores de 16,56% (v/v) e 8,78% (v/v), respectivamente.

$$\Theta = 0,035 + \frac{(0,035 - 0,21)}{(1 + (0,9894 \cdot \psi)^{2,7527})^{0,0596}}$$

**Figura 3.** Curva de retenção de água no solo ajustada pelo modelo de van Genuchten (1980).

Durante 180 dias foi realizado acompanhamento diário da umidade do solo, iniciados 30 dias após o plantio das espécies, nas camadas de 0,0 a 0,20 m e 0,21 a 0,40 m. Para isso, o monitoramento foi realizado por meio de sensor com princípio de TDR (modelo Trime-BT da IMKO) e previamente calibrado para o solo do experimento, inserido em tubo de acesso até a profundidade mediana dos vasos. Para leituras dados de umidade, foi utilizado o programa Pico-Talk, Versão 1.04 (IMKO), instalado em palmtop modelo RPDA 626 (ASUS) (Figura 4).



(A)



(B)

**Figura 4.** Coleta de dados de umidade do solo (A) e aparelhos utilizados para verificação de umidade do solo (B).

Durante todo o tempo de experimentação os tratamentos fitossanitários e adubações de manutenção das culturas seguiram recomendação para o estado do Espírito Santo.

Aos 210 dias após a aplicação dos tratamentos foram realizadas coletas de solo nos vasos nas profundidades de 0,0 - 0,20 m e 0,21- 0,40 m de profundidade com auxílio de sonda. Em laboratório, as amostras passaram por pré-tratamento. Estas foram secas à sombra, peneiradas em peneiras de 2 mm e parte em peneira de 0,5 mm, para análise de matéria orgânica. Em seguida as amostras foram acomodadas em sacos plásticos identificados. Para realização da análise do pH, fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), acidez potencial (H+Al), sódio (Na), matéria orgânica (MO), ferro (Fe), cobre (Cu), zinco (Zn), manganês (Mn), soma de bases (SB), capacidade de troca de cátions efetiva - CTC (t), CTC em pH 7,0 (T) e saturação por bases (V) empregou-se metodologia da EMBRAPA (1997), e para determinação da quantidade de silício disponível no solo foi utilizado protocolo estabelecido por Korndörfer et al. (2004) com extrator ácido acético 0,5 mol L<sup>-1</sup>.

No mesmo dia da amostragem de solo também foram coletadas a parte aérea das plantas de café conilon e de braquiária, sendo cortadas transversalmente e rentes ao solo e acondicionadas em sacos de papel. Estas foram secas em estufa de ventilação forçada a 65 °C, até peso constante. Após, estas foram trituradas em moinho tipo Wiley e acondicionadas em potes de plástico lacrados e identificados. A determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn e Si, foi realizada através de método proposto pela EMBRAPA (1997).

Os dados foram submetidos às análises de variância, usando os níveis de significância de 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, e análise de regressão. Às médias dos efeitos dos corretivos agrícolas foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. Para os níveis de déficit hídrico no solo, os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste 't' e adotando o nível de 5% de probabilidade, bem como no coeficiente de determinação (r<sup>2</sup>) e no fenômeno biológico.

## **Resultados e Discussão**

### **Cultura do café conilon**

Analisando-se pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Na, MO, Fe, Cu, Zn, Mn, SB, t, T, V e Si, foi encontrado que as concentrações de P, MO e Fe no solo cultivado com

café conilon, não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos como também para interações entre estes tratamentos. Discordando destes resultados, Prado & Fernandes (2000) e Prado et al. (2003), observaram aumento significativo para as concentrações de fósforo com o acréscimo das doses de escória de siderurgia. Estes mesmos autores explicam que essa maior disponibilização ocorreu devido a competição do ânion  $\text{SiO}_4^{-4}$  pelos mesmos sítios de adsorção do fósforo, implicando na liberação deste nutriente na solução do solo. Provavelmente os resultados não foram semelhantes neste estudo devido às doses de silicato utilizadas por aqueles autores serem muito superiores.

Os níveis do fator corretivos agrícolas apresentaram diferença significativa para médias de Ca, Mg, SB, CTC efetiva e V, quando realizada a análise de variância para pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Na, MO, Fe, Cu, Zn, Mn, SB, t, T, V e Si. Deste modo, quando utilizada a correção do solo com calcário foi observada menor disponibilização de Ca e Mg, em relação à maior dose de silicato de cálcio (Tabela 1). Da mesma forma, os valores de SB, CTC efetiva e V se mostraram mais altos quando da utilização de silicato de cálcio em dose três vezes superior à recomendada (Tabela 1). Segundo Alcarde (1992), esse efeito de aumento nas concentrações de cálcio, nas bases e na CTC efetiva, deve-se à alta quantidade de Ca e Mg na composição da escória silicatada, além da maior solubilidade em água do silicato de cálcio ( $0,095 \text{ g L}^{-1}$ ) em relação ao calcário ( $0,014 \text{ g L}^{-1}$ ), gerando maior disponibilização na solução do solo.

**Tabela 1.** Valores de pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e saturação por bases (V), para três corretivos de solo cultivado com *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12

Corretivos	pH	Ca	Mg	Al	SB	t	V
		----- $\text{cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ -----					%
Calcário	4,54 a	3,39 b	0,28 b	0,27 a	4,35 b	4,62 b	53,46 b
Silicato de Cálcio	4,65 a	4,05 ab	0,34 ab	0,31 a	5,37 ab	5,69 ab	62,25 a
3x Silicato de Cálcio	4,55 a	4,51 a	0,37 a	0,31 a	5,58 a	5,90 a	63,47 a
CV (%)	4,55	37,1	26,89	38,85	31,28	29,63	19,58

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Comparando-se as duas profundidades de amostragem do solo, nota-se, quando analisados pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Na, MO, Fe, Cu, Zn, Mn, SB, t, T, V e Si, diferença significativa entre as médias de pH, Ca, Mg, SB, t e V, sendo os maiores valores encontrados para a camada de 0,0 a 0,20 m de profundidade (Tabela 2). As concentrações de Al exibiram comportamento oposto, sendo encontradas menores quantidades na camada mais superficial do solo. Prado et al. (2003), estudando o efeito de escória de siderúrgica sobre atributos químicos do solo em cana-de-açúcar, observaram resultado semelhante, encontrando maiores valores de pH, Ca e Mg na camada mais superficial do solo (0,0 – 0,20 m). Notadamente, no estudo realizado por Prado et al. (2003), as aplicações do silicato de cálcio eram realizadas superficialmente, explicando os resultados obtidos, devido à ação de neutralização oferecida pelo corretivo e pela disponibilização de cálcio e magnésio. Já no presente trabalho, os corretivos foram incorporados uniformemente de 0,0 a 0,40 m, esperando-se, portanto, que esta distinção não fosse observada. Por outro lado, maior retenção de água pode ter ocorrido na camada superficial, especialmente sob os níveis mais severos de déficit hídrico, possibilitando que nesta camada as reações de solubilização e neutralização por parte do corretivo fossem mais intensas.

**Tabela 2.** Valores de pH, cálcio (Ca), magnésio (Mg), alumínio (Al), soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e saturação por bases (V), para duas profundidades do solo, cultivado com *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12

Profundidade (m)	pH	Ca	Mg	Al	SB	t	V
		----- cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----					%
0,00 - 0,20	4,69 a	4,46 a	0,35 a	0,27 b	5,72 a	5,98 a	62,98 a
0,21 - 0,40	4,47 b	3,51 b	0,31 b	0,33 a	4,49 b	4,82 b	56,48 b
CV (%)	4,55	37,1	26,89	38,85	31,28	29,63	19,58

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

A interação entre os corretivos de solo e as profundidades estudadas no solo cultivado com café conilon não foi significativa para pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Na, MO, Fe, Cu, Zn, SB, t, T, V e Si, sendo observado diferença entre as médias apenas para as concentrações de Mn. Na profundidade de 0,0 a 0,20 m, constata-se maior disponibilidade deste nutriente quando utilizada a maior dose de silicato de cálcio

(1440 kg ha<sup>-1</sup>), sendo a menor disponibilidade quando aplicado calcário no solo (Tabela 3). Da mesma forma, três vezes silicato de cálcio foi o único corretivo que apresentou diferença entre as médias de cada profundidade, sendo observada maior presença do micronutriente na solução do solo na camada mais superficial (Tabela 3). Segundo Prado & Fernandes (2001), a ação do silicato de cálcio desencadeia algumas reações químicas no solo de maneira que elementos como alumínio e manganês precipitem, aumentando assim suas concentrações. Essa característica dos corretivos silicatados, possivelmente, faz com que as plantas apresentem maior tolerância à toxidez por Mn, devido à impossibilidade de absorção quando estes estão precipitados no solo (PEASLEE & FRINK, 1969; SHI et al., 2005; CUNHA et al., 2008; ZHANG et al., 2008).

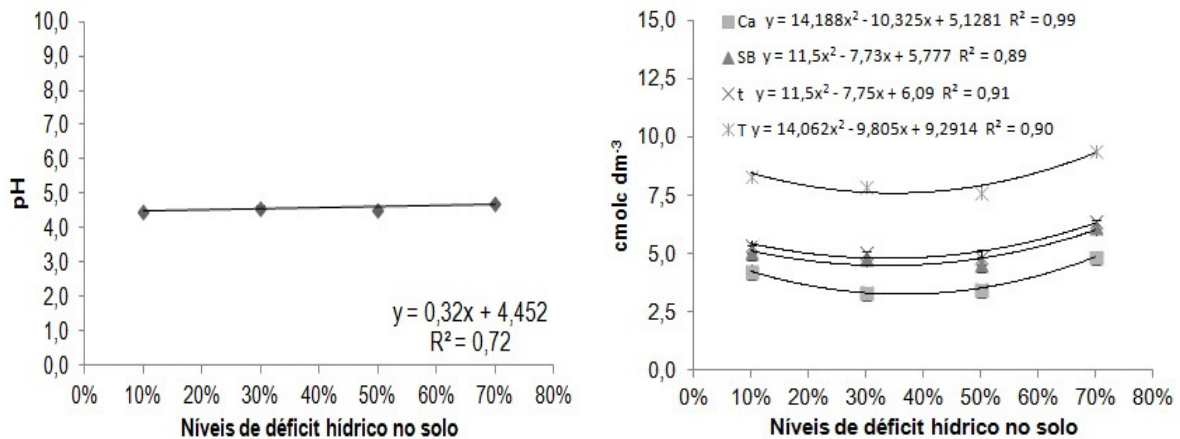
**Tabela 3.** Concentração de manganês (Mn), em função de três corretivos agrícolas, em duas profundidades do solo, cultivado com *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12

Profundidade (m)	Mn (mg dm <sup>-3</sup> )		
	Corretivos Agrícolas		
	Calcário	Silicato de Cálcio	3x Silicato de Cálcio
0,00 - 0,20	7,68 Ba	8,59 ABa	10,69 Aa
0,21 - 0,40	8,24 Aa	10,14 Aa	8,67 Ab
CV (%)	25,25		

\* Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si segundo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os níveis de déficit hídrico interferiram de forma significativa no pH do solo, nas concentrações de Ca, na SB, t e T. Apesar de apresentar diferenças entre os períodos de irrigação (definidos pelos déficits hídricos), o pH do solo sofreu pequeno acréscimo, de forma retilínea nos valores, à medida que os déficits hídricos eram mais acentuados, apresentando-se assim ligeiramente mais ácido o solo com 10% de água no solo (Figura 3). Também foram observados os comportamentos quadráticos das concentrações de Ca, SB, t e T, quando houve variação dos níveis de déficit hídrico, independente da profundidade do solo e dos corretivos agrícolas. Os maiores valores destes atributos, a 70% de deficiência hídrica, podem ser explicados, provavelmente, devido a maior disponibilização, principalmente de Ca e Mg, por parte dos corretivos, mostrando a maior solubilidade em água. Já em, 30% e

50%, provavelmente tenha ocorrido maior absorção pelas plantas, reduzindo os teores na solução do solo. Os resultados para SB, CTC efetiva e T, estão diretamente relacionados com os de Ca, Mg, Na, K e Al. Ocorrendo elevação de pelo menos um dos nutrientes, no caso o Ca, os valores destas características químicas seguem a mesma tendência.



**Figura 3.** pH do solo, teor de cálcio (Ca), soma de bases (SB), CTC efetiva (t) e CTC pH 7,0 (T) em solo cultivado com *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, em função de níveis de déficit hídrico no solo.

Os resultados da análise de variância mostraram que para os atributos e relações estudadas (pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Na, MO, Fe, Cu, Zn, SB, t, T, V e Si) foi observada diferença estatística para interação entre os níveis do fator corretivos do solo e níveis do fator déficit hídrico no solo para K, Mg, Na, Cu e Si, apresentando os demais nutrientes do solo igualdade estatística.

Analisando a interação entre os corretivos do solo e os níveis de déficit hídrico, observa-se que as concentrações de K no solo exibiram médias inferiores para os corretivos silicatados quando aplicado 30% de deficiência hídrica. Os demais déficits hídricos não afetaram a disponibilidade de K na solução do solo (Tabela 4). Houve, para todos os corretivos, aumento significativo dos teores deste macronutriente com o acréscimo nos níveis de déficit, sendo este aumento mais acentuado onde se fez uso de calcário (Figura 4).

Para Mg os resultados foram opostos ao de K, verificando-se menor disponibilidade do nutriente quando utilizado calcário como corretivo de solo, a 50% de déficit hídrico (Tabela 4). Quando considerada a avaliação dos níveis de déficit hídrico isolando-se os corretivos agrícolas, percebem-se maiores concentrações de



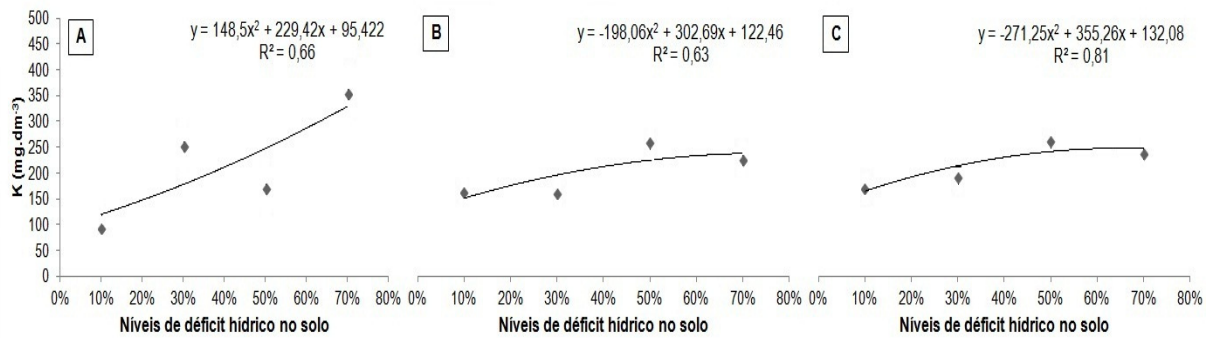
Mg com a elevação da deficiência hídrica, para os corretivos silicatados (Figura 5). Não houve ajuste de modelo para o calcário. A correção do solo com calcário apresentou, em média,  $0,28 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ . Provavelmente esta maior quantidade de Mg no solo deve-se à sua liberação por parte dos corretivos silicatados que apresentam este nutriente em sua composição.

Quando observado o Na, nota-se que o déficit de 30% afetou a disponibilidade do nutriente de forma que a dose de silicato de cálcio proporcionou maior teor do mesmo no solo (Tabela 4). Observando-se a resposta do nutriente aos déficits hídricos contata-se que apenas a aplicação de calcário possibilitou ajuste de modelo de regressão e afetou a disponibilidade de Na, promovendo aumento até o nível mais elevado de déficit (70%) (Figura 6). Silicato de cálcio e três vezes a dose de silicato de cálcio apresentaram, respectivamente,  $36,63 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $34,17 \text{ mg dm}^{-3}$ , valores superiores, em média, ao encontrado para calcário ( $25,95 \text{ mg dm}^{-3}$ ).

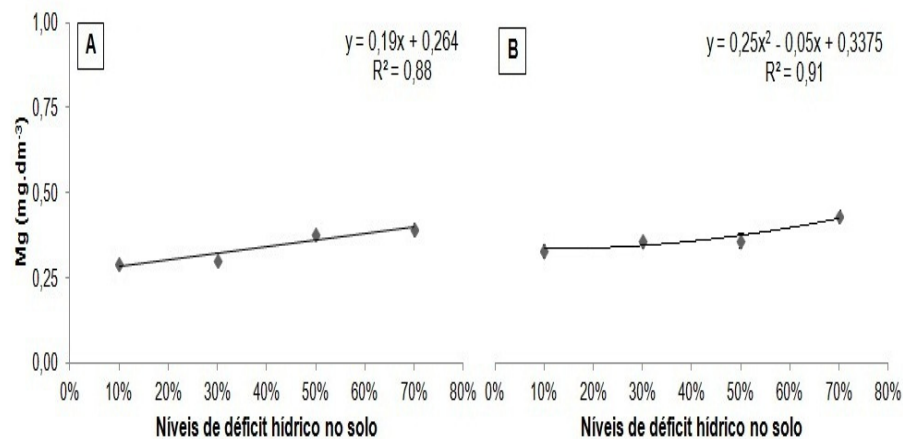
**Tabela 4.** Concentração de potássio (K), magnésio (Mg), sódio (Na) e cobre (Cu) no solo cultivado com *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, em função de níveis de déficit hídrico

K (mg dm <sup>-3</sup> )				
Corretivos Agrícolas	Níveis de Déficit Hídrico no Solo			
	10%	30%	50%	70%
Calcário	94,88 a	252,52 a	172,35 a	353,75 a
Silicato de Cálcio	162,04 a	161,55b	258,17 a	225,99 a
3x Silicato de Cálcio	171,84 a	193,42 b	262,73 a	240,91 a
CV (%)	79,85			
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> )				
Calcário	0,33 a	0,32 a	0,15 b	0,32 a
Silicato de Cálcio	0,29 a	0,30 a	0,38 a	0,39 a
3x Silicato de Cálcio	0,33 a	0,36 a	0,36 a	0,43 a
CV (%)	26,89			
Na (mg dm <sup>-3</sup> )				
Calcário	11,21 a	32,32 b	25,32 a	34,97 a
Silicato de Cálcio	15,94 a	71,66 a	29,63 a	29,31 a
3x Silicato de Cálcio	40,11 a	20,66 b	41,26 a	34,66 a
CV (%)	78,39			
Cu (mg dm <sup>-3</sup> )				
Calcário	4,34 a	8,62 a	2,69 a	2,26 a
Silicato de Cálcio	0,27 b	0,27 b	0,28 b	0,39 b
3x Silicato de Cálcio	0,28 b	0,27 b	0,33 b	0,27 b
CV (%)	26,22			

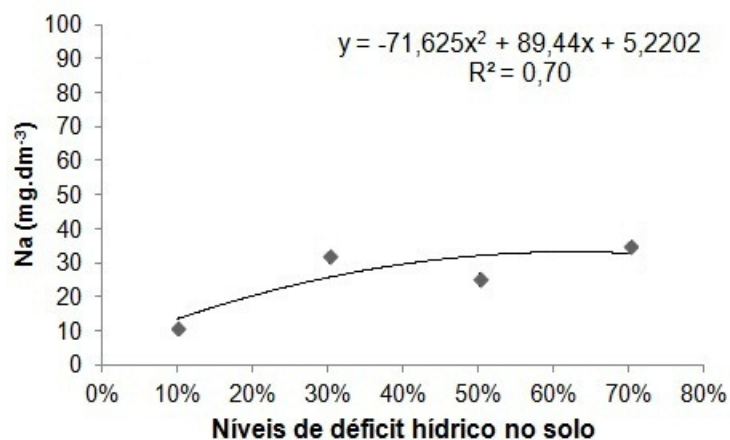
\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 4.** Concentração de potássio (K) no solo cultivado com *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, em função de níveis de déficit hídrico no solo. A, B e C correspondem, respectivamente a calcário, silicato de cálcio e três vezes silicato de cálcio.

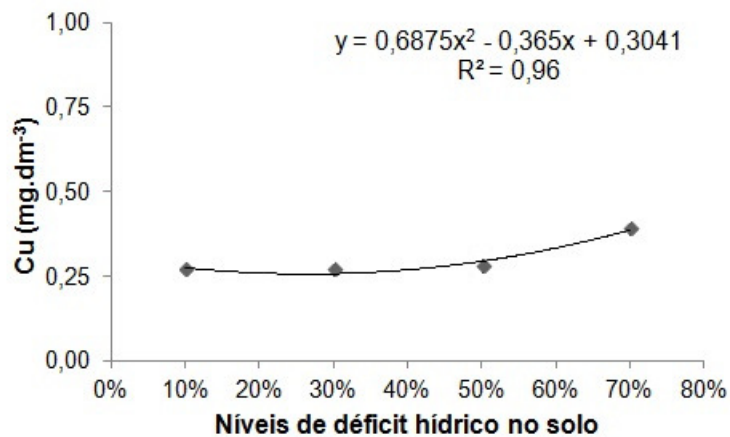


**Figura 5.** Concentração de magnésio (Mg) no solo cultivado com *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, em função de níveis de déficit hídrico no solo. A e B correspondem, respectivamente a silicato de cálcio e três vezes silicato de cálcio.



**Figura 6.** Concentração de sódio (Na) em solo cultivado com *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12 e corrigido com calcário, em função de níveis de déficit hídrico no solo.

Os valores de cobre (Cu) foram expressivamente mais altos para o calcário do que para os silicatos, em ambas as doses (Tabela 4). Segundo Paim et al. (2010), a baixa quantidade de Cu extraído na análise do solo quando utilizado corretivos silicatados pode ser consequência da combinação insolúvel do  $\text{Cu}^{2+}$  com elevadas concentrações do ânion silicato, ocasionando, assim, baixa solubilidade do micronutriente (McBRIDE, 1994) e consequente indisponibilização as plantas. Avaliando os níveis de déficit hídrico, nota-se, para silicato de cálcio, aumento das concentrações de Cu, proporcionados pelo acréscimo nos déficits hídricos (Figura 7). Os valores médios de Cu para calcário e três vezes a dose de silicato de cálcio foram, respectivamente,  $4,48 \text{ mg dm}^{-3}$  e  $0,29 \text{ mg dm}^{-3}$ .



**Figura 7.** Concentração de cobre (Cu) no solo cultivado com *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12 e corrigido com silicato de cálcio, em função de níveis de déficit hídrico no solo.

A concentração de silício no solo antes da instalação dos experimentos foi de aproximadamente  $3,07 \text{ mg dm}^{-3}$ , representando esta, o teor disponibilizado pelo solo sem correções.

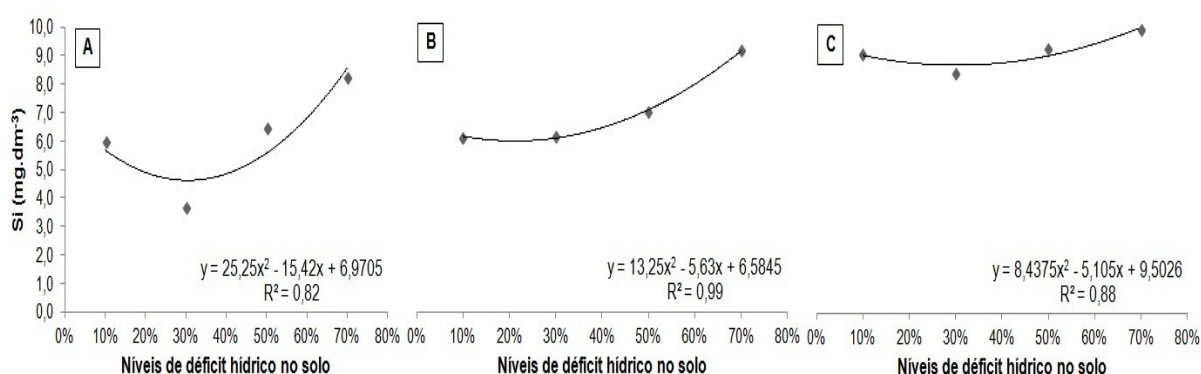
As concentrações de silício (Si) no solo foram maiores em relação ao calcário somente para o consumo de 30% da água disponível (Tabela 5). Valores superiores de Si, em relação ao calcário, eram esperados para ambas as doses de silicato aplicadas, o que não ocorreu. Contudo, de não apresentarem diferença estatística, há uma tendência de as concentrações de Si dos corretivos silicatados serem maiores que os de calcário, nos demais níveis de déficit. Analisando a Figura 8, observa-se que para todos os corretivos ocorreu disponibilização de silício para o solo, sendo que para três vezes a dose recomendada de calcário, as concentrações

foram superiores aos demais corretivos. Isso provavelmente ocorreu devido à maior quantidade de silício aplicado. Há para o Si, assim com observado para os outros atributos analisados, acréscimo no solo com ao aumento do déficit hídrico.

**Tabela 5.** Concentração de silício (Si) no solo cultivado com *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, em função de corretivos de solo e de níveis de déficit hídrico

Si (mg dm <sup>-3</sup> )				
Corretivos Agrícolas	Níveis de Déficit Hídrico no Solo			
	10%	30%	50%	70%
Calcário	5,99 a	3,69 b	6,50 a	8,24 a
Silicato de Cálcio	6,13 a	6,16 a	7,01 a	9,16 a
3x Silicato de Cálcio	9,16 a	8,48 a	9,31 a	9,98 a
CV (%)	55,28			

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.



**Figura 8.** Concentração de silício (Si) em solo cultivado com *Coffea canephora* cv. Incaper Vitória 8142 clone 12, em função de níveis de déficit hídrico no solo. A, B e C correspondem, respectivamente a calcário, silicato de cálcio e três vezes silicato de cálcio.

Korndöfer et al. (1999), estudando aplicações de silício em arroz de sequeiro, concluíram que a adubação silicatada incrementou as quantidades de Si “disponível” no solo e que estas quantidades variaram de acordo com o solo e seu extrator.

A menor concentração de silício encontrado no solo foi 3,69 mg dm<sup>-3</sup> (Tabela 5), para correção com calcário com 30% de déficit hídrico, referindo-se, portanto, ao Si disponibilizado somente pelo solo, corroborando com Korndörfer et al. (1999), onde encontraram 3,2 mg dm<sup>-3</sup>. Essa baixa concentração pode estar ligado ao grau de intemperismo avançado dos solos tropicais (BARBOSA FILHO et al., 2001). Além disto, a pequena quantidade de silício “disponível” no solo quando da grande quantidade da fração areia, devendo-se, em parte, aos baixos teores de argilas e à ausência de minerais primários sensíveis aos ácidos da solução do solo, que são responsáveis pela liberação de Si no solo. Outro fator importante seria o histórico da área de coletado do solo utilizado, caracterizado pela presença de gramíneas, consideradas plantas extratoras (LIMA FILHO et al. 1999).

Pelos resultados encontrados pode-se afirmar, com base nos tratamentos que apresentaram maior quantidade de Si, que *Coffea canephora* é uma espécie considerada não acumuladora de silício, corroborando MA et al. (2001) e REIS, et al. (2007). Entretanto, concentrações mais altas de Si no solo podem afetar o desenvolvimento da planta, principalmente do sistema radicular (RIBEIRO et al., 2011), mas isto não foi determinado neste trabalho.

### **Cultura da braquiária**

A análise de variância feita para pH, P, K, Ca, Mg, Al, H+Al, Na, MO, Fe, Cu, Zn, SB, t, T, V e Si, mostrou que somente as concentrações de Fe, para interação entre profundidade do solo e corretivos do solo, as concentrações de Si, para interação entre os corretivos do solo e déficit hídrico no solo e os pH, para as diferentes profundidades analisados, apresentaram diferença estatística em solo cultivado com *Brachiaria brizantha* cv. Xaráes.

Ao analisar as profundidades de coleta do solo, as médias dos tratamentos onde se utilizou calcário são maiores na profundidade de 0,21 a 0,40 m. Segundo Korndörfer et al. (1999) a elevação do pH, ainda que pequena, pode contribuir de modo significativo, para reduzir a disponibilidade de Fe. Deste modo os valores de pH para as diferentes profundidades explica este resultado: 4,87, para 0,0 – 0,20 m e, 4,72, para 0,21 – 0,40 m. Quando realizada comparação entre os corretivos do solo nota-se que para os tratamentos com silicato de cálcio, na profundidade de 0,0

a 0,20 m, a concentração de Fe foi maior que no tratamento que recebeu calcário (Tabela 6).

**Tabela 6.** Concentração de ferro (Fe) no solo, em função de diferentes corretivos agrícolas, para duas profundidades do solo cultivado de *Brachiaria brizantha* cv. Xaráes

Fe (mg dm <sup>-3</sup> )			
Profundidade (m)	Corretivos Agrícolas		
	Calcário	Silicato de Cálcio	3x Silicato de Cálcio
0,00 - 0,20	64,23 Bb	76,92 ABa	81,74 Aa
0,21 - 0,40	89,92 Aa	80,65 Aa	87,16 Aa
CV (%)	20,87		

\* Médias seguidas da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si segundo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observando os resultados para Si, nota-se que quando as irrigações do solo foram mais espaçadas, ou seja, déficit hídrico maior, o solo corrigido com três vezes a dose de silicato de cálcio apresentou maiores concentrações de silício (Tabela 5). Nos demais níveis de déficit há a mesma tendência, porém com valores bem menores. Provavelmente isso tenha ocorrido devido a dois fatores relacionados: a maior disponibilidade de água nos déficits hídricos menores propiciou às plantas de braquiária desenvolvimento satisfatório, mesmo que prejudicado pela falta d'água; e a braquiária pertence à família botânica *Poaceae*, que assim como o arroz, é uma planta acumuladora de Si; desta forma, a absorção é comum.

**Tabela 5.** Concentração de silício (Si) no solo cultivado com *Brachiaria brizantha* cv. Xaráes, em função de três corretivos de solo e quatro níveis de déficit hídrico

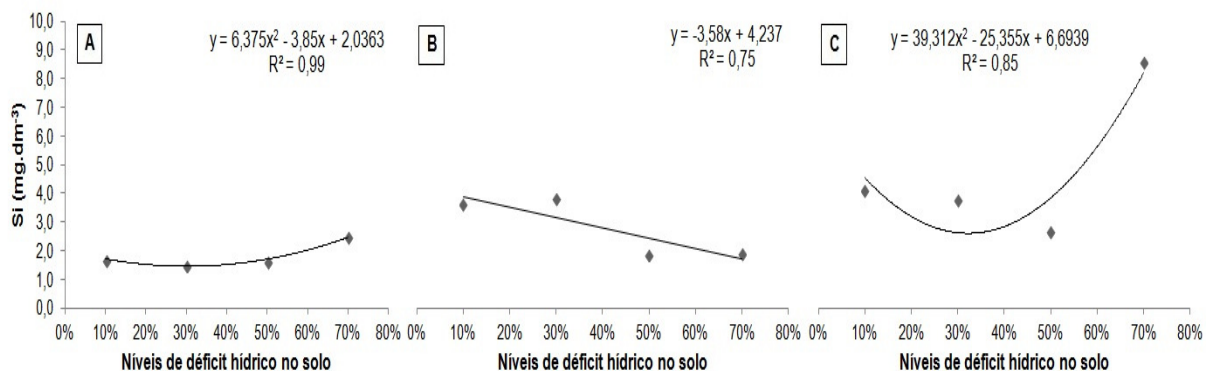
Si (mg dm <sup>-3</sup> )				
Corretivos Agrícolas	Níveis de Déficit Hídrico no Solo			
	10%	30%	50%	70%
Calcário	1,70 a	1,50 a	1,66 a	2,48 b
Silicato de Cálcio	3,64 a	3,81 a	1,87 a	1,90 b
3x Silicato de Cálcio	4,16 a	3,80 a	2,67 a	8,60 a
CV (%)	21,95			

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Concordando com os resultados deste trabalho, Fonseca et al. (2009), estudando calcário e silicato de cálcio em cultivo de capim-marandu, concluiu que a utilização de escórias de siderurgia (silicato de cálcio) proporcionou maior concentração de Si “disponível” no solo em relação ao calcário.

Outro ponto a se considerar seria o fato de os menores valores encontrados para calcário poderem ser considerados um limite daquilo que seria disponível para a absorção pela planta, visto que este seria a concentração de Si no solo sem correção com silicatos.

Segundo Lima Filho (1999) a falta de adubação silicatada em cultivos de plantas acumuladoras juntamente com a extração realizada pelas mesmas contribui para diminuição dos teores no solo. Estes resultados podem ser observados na Figura 9, onde as concentrações de Si no solo são menores quando utilizado calcário e três vezes a dose de silicato de cálcio, principalmente nos menores déficits hídricos. Pulz et al. (2008), encontraram maiores concentrações de Si no solo quando utilizados dois níveis de água (0,02 e 0,05 MPa), em estudo para batata. Estes explicam que entre as fontes de silício solúvel no solo estão relacionadas com a dissociação do ácido silícico polimérico e a decomposição de resíduos vegetais. Esta última, pode ser relacionado à menor disponibilidade de água ocasionar maior senescência das folhas e posterior decomposição no solo, liberando o Si.



**Figura 9.** Concentração de silício (Si) no solo cultivado com *Brachiaria brizantha* cv. Xaráes, em função de níveis de déficit hídrico no solo. A, B e C correspondem, respectivamente a calcário, silicato de cálcio e três vezes silicato de cálcio.

Ao analisar os teores de K, Ca, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Mn e Si nos tecidos das plantas de braquiária, Cu, Si, Mn e Na são os únicos para os quais houve



significância. Houve diferença para interação entre os corretivos de solo e os níveis de déficit hídrico no solo para Cu e Si. Quando observados os teores de Cu para o nível de 10% de deficiência hídrica, pode-se constatar que os corretivos silicatados apresentaram maior teor do micronutriente. Os demais níveis de déficit hídrico não apresentaram tal diferença (Tabela 6). Comparando-se os resultados dos períodos de irrigação proporcionados pela umidade do solo, para cada corretivo agrícola, nota-se tendência quadrática para ambas as curvas, sendo que para calcário, o máximo de Cu encontra-se próximo ao maior nível de déficit hídrico (70%). Já para três vezes a dose de silicato de cálcio, o ponto de máxima concentração do nutriente se encontra entre irrigações realizadas quando consumido 30% e 50% da água útil às plantas (Figura 11). O teor de Cu nas folhas da cultivar Xaráes, quando utilizado silicato de cálcio, foi de  $0,092 \text{ mg kg}^{-1}$ , em média, enquanto que para o triplo de silicato de cálcio e para calcário foi de,  $0,082 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $0,066 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente.

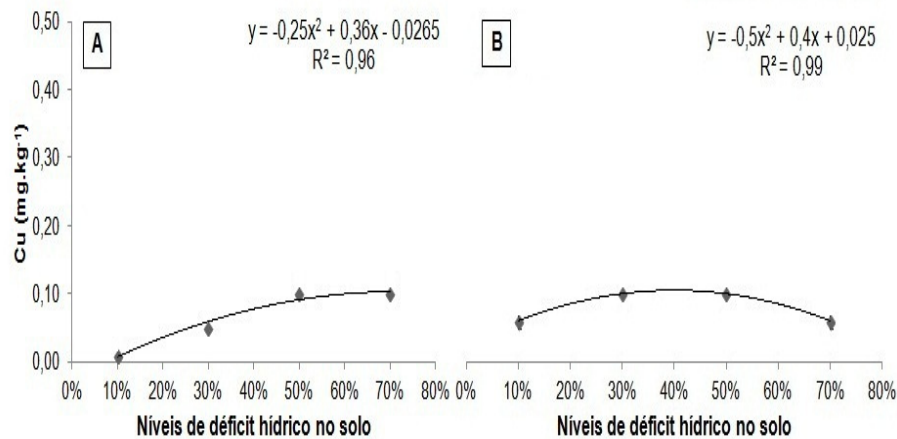
Analisando os teores de Si nas folhas, nota-se que para 10% e 30% de déficit hídrico no solo, os teores deste nutriente foram maiores quando utilizados os corretivos silicatados. Os demais níveis de déficit hídrico não apresentaram diferença estatística entre os corretivos de solo (Tabela 6). Os teores de silício, quando analisados os déficits hídricos, para cada corretivo agrícola foram  $140,73 \text{ mg kg}^{-1}$ ,  $168,98 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $183,30 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente para calcário, silicato de cálcio e três vezes silicato de cálcio.

**Tabela 6.** Teor de cobre (Cu) e de silício (Si) em plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Xaráes, em função de três corretivos de solo e de quatro níveis de déficit hídrico

Corretivos Agrícolas	Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ )			
	Níveis de Déficit Hídrico no Solo			
	10%	30%	50%	70%
Calcário	0,01 b	0,05 a	0,1 a	0,1 a
Silicato de Cálcio	0,1 a	0,1 a	0,07 a	0,1 a
3x Silicato de Cálcio	0,06 ab	0,1 a	0,1 a	0,06 a
CV (%)	34,83			
Corretivos Agrícolas	Si ( $\text{mg kg}^{-1}$ )			
	10%	30%	50%	70%
	10%	30%	50%	70%
Calcário	137,15 b	108,06 c	174,57 a	143,14 a
Silicato de Cálcio	156,19 ab	186,53 b	111,53 a	149,68 a
3x Silicato de Cálcio	208,39 a	258,53 a	158,05 a	180,42 a
CV (%)	20,72			

\* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

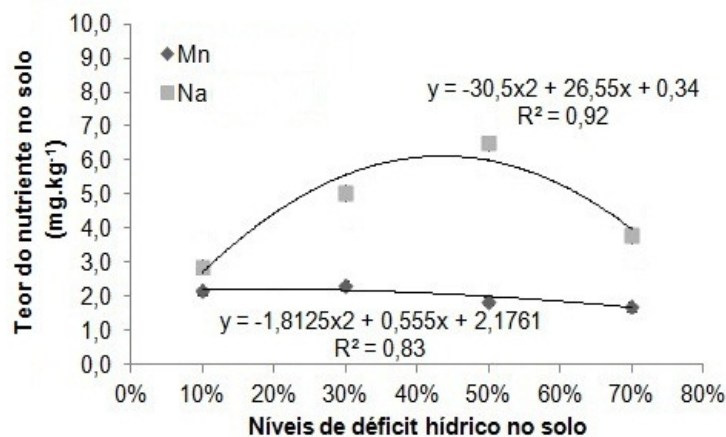
Assim como nos resultados encontrados para braquiária, Pulz et al. (2008) encontraram os maiores teores de Si nas folhas de batata sob os tratamentos com déficit hídrico. Corroboram com Pulz et al. (2008), os resultados encontrados por Sávio et al. (2011), estudando espécies de braquiária e *Panicum sp.*, por Melo et al. (2003), estudando *B. decumbens* e *B. brizantha*, por Korndörfer et al. (2010), estudando *B. brizantha* cv. Marandu e *Panicum maximum* cv. Mombaça.



**Figura 11.** Teores de cobre (Cu) em plantas de *Brachiaria brizantha* cv. Xaráes, em função de níveis de déficit hídrico no solo. A e B correspondem, respectivamente a calcário e três vezes silicato de cálcio.

Os teores de Mn e sódio Na apresentaram significância somente para os níveis de déficit hídrico. Ambos os nutrientes apresentaram curvas quadráticas, sendo a de Na mais acentuada, com máxima concentração entre 30% e 50% de déficit hídrico no solo. Já a curva de Mn, apresenta conformação quase linear, com pequena queda à medida que aumento o déficit hídrico (Figura 12).

Pulz et al. (2008), não observaram diferenças significativas entre os teores de Mn em folhas de batata, quando cultivados sob dois déficits hídricos. Da mesma forma, Leão et al. (2011), estudando o efeito do déficit hídrico sobre sorgo, não observaram diferença estatística entre os níveis de déficit hídrico utilizados, apresentando, assim, resultados diferentes dos encontrados para braquiária.



**Figura 12.** Teor de manganês (Mn) e de sódio (Na) em planta de *Brachiaria brizantha* cv. Xaráes, em função de níveis de déficit hídrico no solo.

## Conclusões

1. Os corretivos silicatados incrementaram as concentrações de Ca, SB e t em solo cultivado com café conilon.
2. Houve maior concentração de Ca, Mg, SB, t e V nas camadas superficiais do solo cultivado com café conilon.
3. Os níveis de déficit hídrico proporcionaram acréscimo do pH, Ca, SB, t e T, independente dos corretivos utilizados no solo cultivado com café.
4. A fertilidade do solo cultivado com braquiária não foi afetada pelos corretivos silicatados, que, em contrapartida, alteraram as concentrações de Cu e Si foliares.

## Referências Bibliográficas

ABDALLA, M.M. Beneficial effects of diatomite on growth, the biochemical contents and polymorphic DNA in *Lupinus albus* plants grown under water stress. **Agriculture and Biology Journal of North America**, v.2, p 207-220, 2011.

ALCARDE, J.C. **Corretivo de acidez dos solos: características e interpretações técnicas**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26p.

ALVAREZ, J.; DATNOFF, L.E. The economic potential of silicon for integrated management and sustainable rice production. **Crop Protection**, v.20, p.43-48, 2001.

BARBOSA FILHO, M.P. Importância do silício para a cultura do arroz. **Informe Agrônômico**, v. 89, p.1-8, 2000.

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.325-330, 2001.

BRAGANCA, S.M. EMCAPA 8111, EMCAPA 8121, EMCAPA 8131: Variedades clonais de café Conilon para o Estado do Espírito Santo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.36, p.765-770, 2001.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BÜLL, L.T.; CRUSCIOL, C.A.C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.39, p.1213-1218, 2004.

CASTRO, F.S. **Zoneamento agroclimático para a cultura do *Pinus* no estado do Espírito Santo**. 2008. 99p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Centro de Ciências agrárias – UFES, Alegre, 2008.

CASTRO, G.S.A. **Alterações físicas e químicas do solo em função do sistema de produção e da aplicação superficial de silicato e calcário**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, 2009, 160p.

CRUSCIOL C.A.C. et al. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science**, v.49, p.949-954, 2009.

CUNHA, K.P.V. da; NASCIMENTO, C.W.A. do; PIMENTEL, R.M.M.; FERREIRA, C.P. Cellular localization of cadmium and structural changes in maize plants grown on a Cd contaminated soil with and without liming. **Journal of Hazardous Materials**, v.160, p.228-234, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed., 2006. 306p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análise de solos**. 2.ed.,1997. 212p.

EUCLYDES, R.F. SAEG (Sistema para análise estatística e genética) **Manual de utilização do programa SAEG**. Viçosa: UFV, 2005.

FERRÃO, R.G.; FONSECA, A.F.A. de; BRAGANÇA, S.M.; FERRÃO, M.A.G.; MUNER, L.H.D. **Café Conilon**. Vitória, ES: Incaper, 2007. 702p.

FONSECA, I.M.; PRADO, R. de M.; VIDAL, A. de A.; NOGUEIRA, T.A.R. Efeito da escória, calcário e nitrogênio na absorção de silício e na produção do capim-marandu. **Bragantia**, v.68, p.221-232, 2009

KORNDÖRFER, G.H, ARANTES, V.A., CORRÊA, G.F., SNYDER, G.H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.23, p.635-641, 1999.

KORNDÖRFER, G.H., PEREIRA, H.S., NOLLA, A. **Análise de silício no solo, planta e fertilizantes**. Uberlândia, MG: Universidade Federal de Uberlândia – UFU, 2004. 50p.

KORNDÖRFER, G.H. Existe alguma relação entre Si e Plantio Direto? In: **Direto no Cerrado**, APDC - Associação de Plantio Direto no Cerrado, 1999.

KORNDÖRFER, P.H.; SILVA, G.C.; TEIXEIRA, I.R.; SILVA, A.G.; FREITAS, R.S. Efeito da adubação silicatada sobre gramíneas forrageiras e características químicas do solo. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.40, p.119-125, 2010.

LACERDA, V. **Informe Agropecuário – pastagem**. Belo Horizonte, MG: EPAMIG, v.26, 2005. 110p.

LIMA FILHO, O.F.; LIMA, M.T.G. & TSAI, S.M. **O silício na agricultura**, p.1-7, 1999.

MA, J.F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends Plant Science**, v.11, p.342-397, 2006.

MA, J.F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science Plant Nutrition**, v.50, p.11-18, 2004.

MA, J.F.; MIYAKE, Y. & TAKAHASHI, E. **Silicon as a beneficial element for crop plant**. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H. & KORNDÖRFER, G.H., eds. Silicon in agriculture. Amsterdam, Elsevier, p.17-39, 2001.

McBRIDE, M.D. **Environmental chemistry of soils**. New York: Oxford University, 1994, 406 p. BATAGLIA, O.C. Micronutrientes: disponibilidades e interações. In: Enxofre e micronutrientes na agricultura brasileira. Londrina, PR: EMBRAPA/IAPAR/SBCS, p.121-130, 1988..

MELO, S.P.; KORNDÖRFER, G.H.; KORNDÖRFER, C.M.; LANA, R.M.Q.; SANTANA, D.G. Silicon accumulation and water deficit tolerance in *Brachiaria grass*. **Scientia Agricola**, v.60, p.755-759, 2003.

NOLLA, A.; ANGHINONI, I. Métodos utilizados para a correção da acidez do solo no Brasil. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.06, p.97-111, 2004.

PAIM, L.A.; CARVALHO, R.; MELO, W. de C.; FURTINI NETO, A.E. Efeito do silício e do fósforo na disponibilidade de metais pesados do solo pelo extrator Mehlich-1. **Ciência Agropecuária**, v.27, p.780-787, 2003.

PEASLEE, D.E.; FRINK, C.R. Influence of silicic acid on uptake of Mn, Al, Zn, and Cu by tomatoes (*Lycopersicum esculentum*) grown on an acid soil. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.33, p.569-571, 1969

PRABAGAR, S., HODSON M.J., EVANS, D.E. Silicon amelioration of aluminium toxicity and cell death in suspension cultures of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). **Environmental and Experimental Botany**, v.70, p.266-276, 2011.

PRADO, R. de M.; CORRÊA, M.C. de M.; CINTRA, A.C.O.; NATALE, W. Resposta de mudas de goiabeira à aplicação de escórias de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.25, p.160-163, 2003

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Eficiência da escoria de siderurgia em areia quartzosa na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.18, p.36-39, 2000

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Resposta da cultura da cana-de-açúcar à aplicação de escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.201-209, 2001

PRADO, R.M.; COUTINHO, E.L.M.; ROQUE, C.G.; VILLAR, M.L.P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.539-546, 2002

PRADOS, R. de M.; FERNANDES, F.M.; NATALE, W. Efeito residual da escória de siderurgia como corretivo de acidez do solo na soqueira de cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.287-296, 2003

PREZOTTI, L.C.; GOMES, J.A.; DADALTO, G.G.; OLIVEIRA, J.A. de. **Manual de Recomendação de Calagem e Adubação para o Estado do Espírito Santo – 5ª Aproximação**. Vitória, ES: SEEA/INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.

PULZ, A.L. Influência de silicato e calcário na nutrição, produtividade e qualidade da batata sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1651-1659, 2008.

RAMOS, L.A.; KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A. Acúmulo de silício em plantas de arroz do ecossistema de várzea submetido à aplicação de diferentes fontes. **Bragantia**, v.67, p.751-757, 2008

REIS, T.H.P.; GUIMARÃES, P.T.G.; FIGUEIREDO, F.C.; POZZA, A.A.A.; NOGUEIRA, F.D. & RODRIGUES, C.R. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Belo Horizonte, MG: Epamig, 2007. 120p.

RIBEIRO, R.V.; SILVA, da L.; RAMOS, R.A.; ANDRADE, C.A. de; ZAMBROSI, F.C. B.; PEREIRA, S.P. O alto teor de silício no solo inibe o crescimento radicular de cafeeiros sem afetar as trocas gasosas foliares. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.35, p.939-948, 2011

SÁVIO, F.L.; SILVA, G.C. da; TEIXEIRA, I.R.; BORÉM, A. Produção de biomassa e conteúdo de silício em gramíneas forrageiras sob diferentes fontes de silicato. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, p.103-110, 2011

SHI, X.H.; ZHANG, C.C.; WANG, H.; ZHANG, F.S. Effect of Si on the distribution of Cd in rice seedlings. **Plant and Soil**, v.272, p.53-60, 2005

van GENUCHTEN, M.T. A Closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

ZHANG, C.; WANG, L.; NIE, O.; ZHANG, W.; ZHANG, F. Long-term effects of exogenous silicon on cadmium translocation and toxicity in rice (*Oryza sativa* L.). **Environmental and Experimental Botany**, v.62, p.300-307, 2008.

ZHU, Z.; WEI, G.; LI, J.; QIAN Q.; YUET, J. Silicon alleviates salt stress and increases antioxidant enzymes activity in leaves of salt-stressed cucumber (*Cucumis sativus* L.). **Plant Science**, v.167, p.527-533, 2004.

### 3. CONCLUSÕES GERAIS

1. A utilização de corretivos silicatados na cultura do café conilon proporciona a esta espécie tendência a tolerar níveis moderados de deficiência hídrica no solo, afetando, de forma positiva, suas estruturas anatômicas, processos fisiológicos e, conseqüentemente, seu desenvolvimento.
2. A cultura do mamão não tolerou os níveis de déficit hídrico aplicados ao solo mesmo com aplicação de silicato de cálcio, mostrando-se cultura extremamente exigente quanto à prática da irrigação.
3. A cultura da braquiária tolerou os níveis de déficit hídrico no solo principalmente com solos corrigidos com silício, exibindo alterações nas estruturas anatômicas e fisiológicas, mas não implicando em alterações fitotécnicas. A utilização de silicato de cálcio proporcionou a manutenção das plantas.
4. Para café conilon e braquiária foram constatadas alterações na fertilidade do solo e na quantidade de Si disponível no solo, em função dos corretivos agrícolas e dos níveis de água no solo .
5. O silicato de cálcio parece induzir a tolerância à seca nas culturas de café e braquiária, necessitando-se de mais estudos para esta constatação.



#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

BARBOSA FILHO, M.P.; SNYDER, G.H.; PRABHU, A.S.; DATNOFF, L.E.; KORNDÖRFER, G.H. Importância do silício para a cultura do arroz (Uma revisão de literatura) **Informações Agrônomicas**. Encarte técnico. n.89 p.1-8. 2000.

BUSATO, G.R.; GRÜTZMACHER, A.D.; GARCIA, M.S.; GILO, F.P.; MARTINS, A.F. Consumo e utilização de alimento por *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidade) originária de diferentes regiões do Rio Grande do Sul, das culturas do milho e do arroz irrigado. **Neotropical Entomology**, v.31, p.110-118, 2002.

CASTRO, F.S. **Zoneamento agroclimático para a cultura do pinus no estado do Espírito Santo**. 2008. 99p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Centro de Ciências agrárias – UFES, Alegre.

DATNOFF, L.E., RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Effect of calcium silicate on blast and brown spot intensities and yields of rice. **Plant Disease**, v.75, p.729-732, 1991.

DATNOFF, L.E.; RAID, R.N.; SNYDER, G.H.; JONES, D.B. Evaluation of calcium silicate slag and nitrogen on brown spot, neck rot, and sheath blight development on rice. **Biological and Cultural Tests for Control of Plant Diseases**, v.5, p.65, 1990.

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

FARIA, R.J. **Influência do silicato de cálcio na tolerância do arroz de sequeiro ao déficit hídrico do solo**. Viçosa: UFV, 2000. 47p.

GOUSSAIN, M.M.; MORAES, J.C.; CARVALHO, J.G.; NOGUEIRA, N.L.; ROSSI, M.L. Efeito da aplicação de silício em plantas de milho no desenvolvimento biológico da lagarta-do-cartucho *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). **Neotropical Entomology**, v.31, p.305-310, 2002.

KORNDÖRFER, G.H. **Existe alguma relação entre Si e Plantio Direto?** In: Direto no Cerrado, APDC - Associação de Plantio Direto no Cerrado, 1999.

MELO, S.P.; KORNDÖRFE, G. H.; KORNDÖRFE, C. M.; LANA, R. M.Q.; SANTANA, D.G. Silicon accumulation and water deficit tolerance in *Brachiaria* grasses. **Science agrícola**, v.60, p.755-759, 2003.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. **Silicon as a beneficial element for crop plants**. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H. Silicon in agriculture. Studies in plant science. Amsterdam: Elsevier, 2001. v.8, cap.2, p.17-39.

OSUNA-CANIZALES, F.J.; DEDATTA, S.K.; BONMAN, J.M. Nitrogen form and silicon nutrition effects on resistance to blast disease of rice. **Plant and Soil**, v.135, p.223-231, 1991.

POZZA, A.A.A.; POZZA, E.A.; CARVALHO, J.G.; MONTANARI, M.; GUIMARÃES, P.T.G.; SANTOS, D.M. Efeito do silício no controle da cercosporiose em três variedades de cafeeiro. **Fitopatologia Brasileira**, v.29, p.185-188, 2004.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Efeito do calcário e da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo no Latossolo Vermelho-Escuro e na Areia Quartzosa. **Revista de Agricultura**, v.74, p.235-242, 1999.

PRADO, R.M.; FERNANDES, F.M. Eficiência da escória de siderurgia em Latossolo Vermelho na nutrição e na produção de matéria seca de cana-de-açúcar cultivada em vaso. **STAB Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.19, p.26-29, 2001.

PRADO, R.M.; COUTINHO, E.L.M.; ROQUE, C.G.; VILLAR, M.L.P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.37, p.539-546, 2002.

TAKAHASHI, E. **Uptake mode and physiological functions of silica**. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R. (Ed.) Science of the rice plant: physiology. Tokyo: **Food and Agriculture Policy Research Center**, p.420-433, 1995.

ANDRANDE JUNIOR, A.S. de; FRIZZONE, J.A.; BASTOS, E.A.; CARDOSO, M.J.; RODRIGUES, B.H.N. Estratégias ótimas de irrigação para cultura da melancia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.301-305, 2001.

ARRUDA, F.B. & GRANDE, M.A. Fator de resposta da produção do cafeeiro ao déficit hídrico em Campinas. **Bragantia**, v.62, p.139-145, 2003.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G.A.; COMIRAN, F.; BERGONCI, F.I.; MÜLLER, A.G.; FRANÇA, S.; SANTOS, A.O.; RADIN, B.; BIANCHI, C.A.M.; PEREIRA, P.G. Déficit hídrico e produtividade na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41 p.243-249, 2006.

CALVACHE, M.; REICHARDT, K. **Effects of water stress imposed at different plant growth stages of common bean (*Phaseolus vulgaris*) on yield and N<sub>2</sub> fixation**. In: KIRDA, C.; MOUTONNET, P.; HERA, C.; NIELSEN, D.R. (Eds.), Crop yield response to deficit irrigation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, p.121–128, 1999.

FABEIRO, C.; OLALLA, F.M. de S.; JUAN, J.A. de. Production of muskmelon (*Cucumis melo* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. **Agriculture and Water Manage**, v.54, p.93–105, 2002.

FABEIRO, C.; OLALLA, F.M. de S.; URREA, R.L. Production of garlic (*Allium sativum* L.) under controlled deficit irrigation in a semi-arid climate. **Agriculture and Water Manage**, v.59, p.155–167, 2003.

FERNANDES, A.L.T.; SANTINATO, R.; LESSI, R.; YAMADA, A.; SILVA, V.A. Deficiência hídrica e uso de granulados em lavoura cafeeira irrigada por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**, v.4, p.371-381, 2000.

GUERRA, A.F.; ROCHA, O.C.; RODRIGUES, G.C.; **Manejo do cafeeiro irrigado no Cerrado com estresse hídrico controlado**, p.42-45, 2005.

KARAM, F.; MASAAD, R.; SFEIR, T.; MOUNZER, O.; ROUPHAEL, Y. Evapotranspiration and seed yield of field grown soybean under deficit irrigation conditions. **Agriculture and Water Manage**, v.75, p.226–244, 2005.

KLAR, A.E. & JADOSKI, S.O. Efeitos da irrigação e da cobertura do solo por polietileno preto sobre as características morfológicas do pimentão. **Irriga**, v.7, 2002.

PENE, C.B.G.; EDI, G.K. **Sugarcane yield response to deficit irrigation at two growth stages**. In: KIRDA, C.; MOUTONNET, P.; HERA, C.; NIELSEN, D.R. (Eds.), Crop Yield Response to Deficit Irrigation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, p.136–147, 1999.

PINOTTI, E.B.; BARBOSA, R.Z.; ARAÚJO, H.M.; PERÃO, G.H. Utilização do estresse hídrico induzido no cafeeiro (*Coffea arabica*). **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, 2009.

PRIETO, D.; ANGUEIRA, C. **Water stress effects on different growing stages for cotton and its influence**. In: KIRDA, C.; MOUTONNET, P.; HERA, C.; NIELSEN, D.R. (Eds.). Crop Yield Response to Deficit Irrigation. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, p.161–179, 1999.

SHOCK, C.C.; FEIBERT, E.B.G. Deficit irrigation of potato. In: Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO) (ed.), **Deficit Irrigation Practices**. Rome, Italy, p.47–56, 2002.