

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA VEGETAL**

**DIEGO GUIMARÃES PINTO**

**FOTOSSÍNTESE, CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM PLANTAS DE  
*Theobroma cacao* L. SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE  
SILICATO DE POTÁSSIO E SUA INTERAÇÃO COM INSETOS-PRAGA**

**VITÓRIA - ES**

**2011**

DIEGO GUIMARÃES PINTO

**FOTOSSÍNTESE, CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM PLANTAS DE  
*Theobroma cacao* L. SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE  
SILICATO DE POTÁSSIO E SUA INTERAÇÃO COM INSETOS-PRAGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal, Área de Concentração: Fisiologia Vegetal.

Orientador: D.Sc. Marco Antonio Galeas Aguiar

Co-orientadora: D.Sc. Diolina Moura Silva

**VITÓRIA - ES**

**2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

P659f Pinto, Diego Guimarães, 1986-  
Fotossíntese, crescimento e composição química em plantas de *Theobroma cacao* L. submetidas a diferentes concentrações de silicato de potássio e sua interação com insetos-praga / Diego Guimarães Pinto. – 2011.  
84 f. : il.

Orientador: Marco Antonio Galeas Aguilár.  
Co-Orientadora: Diolina Moura Silva.  
Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Humanas e Naturais.

1. Cacaueiro. 2. Silício. 3. Plantas - Nutrição. 4. Fisiologia vegetal. 5. Fenóis. 6. Malvacea. I. Aguilár, Marco Antonio Galeas, 1960-. II. Silva, Diolina Moura. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Humanas e Naturais. IV. Título.

CDU: 57

---

**DIEGO GUIMARÃES PINTO**

**FOTOSSÍNTESE, CRESCIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM PLANTAS DE  
*Theobroma cacao* L. SUBMETIDAS A DIFERENTES CONCENTRAÇÕES DE  
SILICATO DE POTÁSSIO E SUA INTERAÇÃO COM INSETOS-PRAGA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal do Centro de Ciências Humanas e Naturais da Universidade Federal do Espírito Santo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biologia Vegetal, Área de Concentração: Fisiologia Vegetal.

APROVADO em 18 de fevereiro de 2011.

D.Sc. Alex-Alan Furtado de Almeida

UESC-BA

D.Sc. Camilla Rozindo Dias Milanez

UFES-ES

D.Sc. Diolina Moura Silva (Co-orientadora)

UFES-ES

D.Sc. Marco Antonio Galeas Aguilar

CEPLAC

(Orientador)

**VITÓRIA - ES**

**2011**

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a **DEUS**, acima de tudo, por me conceder a vida, por me abençoar nos momentos de angústia e dar forças para superar os mais diversos obstáculos.

Aos meus pais, **Maria Helena e José Alonso**, pelos ensinamentos e apoio em mais uma conquista nessa jornada de aprendizado na minha vida, além do apoio incondicional nas medições no campo.

Também não posso esquecer do meu querido irmão, **Renan**, pois sempre estava disposto a me ajudar com as medições, principalmente nos finais de semana.

A **Tia Elza, Tia Edna, Tia Neuza, Tio Divaldo** e, em especial, minha **avó Percília**, pelo carinho.

Aos meus **familiares, avós, tios, tias e amigos** sempre me dando força nas horas mais difíceis.

Ao amigo, professor e orientador **Marco Antonio Galeas Aguilar**, pelo apoio desde a monografia e por mais uma vez ter depositado sua confiança em mim e me ajudado a dar continuidade aos meus estudos, contribuindo com seus conhecimentos.

Ao amigo **Carlos Alberto Spaggiari Souza**, pelo apoio e disposição para contribuir para realização deste trabalho.

Ao gerente regional da CEPLAC/ES, **Paulo Roberto Siqueira**, por permitir a realização deste trabalho e financiamento de algumas análises, e a todos os funcionários da **Estação Experimental Filogônio Peixoto** da CEPLAC de Linhares, ES, por toda atenção, paciência e apoio na condução deste experimento.

Aos estagiários da CEPLAC, **Edson, Rafael, Tainara, Priscila e Sallis**, pela ajuda na condução e coleta de dados no experimento.

Aos **professores do PPGBV**, pelos ensinamentos.

A prof<sup>a</sup> **Camilla R. D. Milanez**, sempre me apoiando, mesmo sem eu trabalhar com anatomia.

Aos funcionários da botânica, **Ricardo e Elizabete** (Beti), pela paciência, dedicação e eficiência.

Ao Programa de Pós-graduação em Biologia Vegetal (PPGBV) da Universidade Federal do Espírito Santo.

Aos colegas da turma 2009/01, **Adriano, Anny, Larissa, Levi, Magda, Marcos, Priscilla, Raiany, Stéfano**, em especial a **Hiulana, Inayá, Jéssica e Natália** juntos em mais uma conquista.

A **Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo – FAPES**, pela concessão da bolsa de estudo.

Ao **Núcleo de Estudos da Fotossíntese (NEF)**, Prof<sup>a</sup>. **Diolina Moura Silva Leonardo**, pelo empréstimo do equipamento e auxílio nas medidas de trocas gasosas foliares.

Ao professor **Gaspar H. Korndörfer**, junto ao Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura - LAFER/ICIAG/UFU, pelas análises do teor foliar de silício em seu laboratório.

Aos funcionários do laboratório da Faculdade Pitágoras, **Claudio e Izaías**, pelo empréstimo dos equipamentos e materiais para as análises de laboratório.

*A todos vocês, muito obrigado!*

## RESUMO

PINTO, Diego Guimarães. M.Sc. Universidade Federal do Espírito Santo. Fevereiro de 2011. **Fotossíntese, crescimento e composição química em plantas de *Theobroma cacao* L. submetidas a diferentes concentrações de silicato de potássio e sua interação com insetos-praga.** Marco Antonio Galeas Aguilar (Orientador); Diolina Moura Silva (Co-orientadora).

O controle de insetos-praga mediante o uso de agroquímicos, ainda é o método mais utilizado no cultivo do cacau. No entanto, devido à questões ambientais, há necessidade de buscar novas alternativas de controle menos danosas ao ambiente e ao homem. Nesse contexto, o silício é um nutriente que está sendo utilizado em diversas culturas, devido a seus efeitos benéficos na fisiologia da planta e na proteção ao ataque de insetos-praga e de agentes causadores de doenças. O objetivo deste trabalho foi avaliar a fotossíntese, o crescimento e a composição química em três genótipos de cacau submetidos a diferentes concentrações de silicato de potássio e sua interação com insetos-praga. Foram realizados dois experimentos, sendo o primeiro instalado sob um sistema agroflorestal constituído por *Bactris gasipaes* e *Theobroma cacao*, no delineamento de blocos ao acaso, com quatro repetições, em arranjo fatorial 3 x 3, constituído de três genótipos (TSH 1188, CCN 51 e Catongo), três doses de silicato de potássio (0, 3 e 6 mL L<sup>-1</sup>) aplicadas via foliar. Foram realizadas avaliações do crescimento vegetativo; da cinética de emissão da fluorescência da clorofila *a*, dos teores de clorofila, da incidência e nível de dano provocado por insetos-praga, além dos teores foliares de silício. O crescimento vegetativo dos genótipos de cacau foi reduzido com a aplicação das doses de silicato de potássio, possivelmente em função da partição de assimilados que estariam sendo utilizados na biossíntese de compostos envolvidos na resistência da planta a insetos. O genótipo TSH 1188 apresentou maior incremento do crescimento vegetativo e massa seca quando comparado ao CCN 51 e Catongo, sendo o único genótipo que apresentou maior índice de clorofila e melhoria nos parâmetros de fluorescência da clorofila *a* quando aplicado 3 mL L<sup>-1</sup> de silicato de potássio, principalmente no fluxo de energia do fotossistema II e nos índices de desempenho da planta para absorção (PI<sub>ABS</sub>) e total (PI<sub>TOTAL</sub>). A aplicação de silicato de potássio na dose 6 mL L<sup>-1</sup> reduziu significativamente a incidência e o nível de dano provocado por insetos-praga nos genótipos de cacau. No entanto, não houve efeito significativo da aplicação de silicato de potássio sobre o teor de silício nas folhas dos genótipos de cacau estudados em relação ao controle. O segundo experimento foi instalado em casa de vegetação com os mesmos tratamentos e delineamento estatístico do experimento anterior. Nele foram avaliadas as trocas gasosas foliares, os teores foliares de fenóis solúveis totais; a fluorescência da clorofila *a*, além do teste de preferência com chance de livre escolha com pulgões. As maiores taxas fotossintéticas e condutância estomática foram encontradas no TSH 1188 e CCN 51. Estes mesmos genótipos apresentaram maiores índices de desempenho (PI<sub>ABS</sub> e PI<sub>TOTAL</sub>), resultado do aumento da densidade de centros de reação ativos do fotossistema II (RC/ABS), do rendimento quântico de FSII ( $\phi_{P0}/(1-\phi_{P0})$ ) e da eficiência das reações de oxi-redução além da quinona a<sup>-</sup> ( $\psi_0/1-\psi_0$ ). A aplicação de silicato de potássio aumentou a fotossíntese líquida, mas não afetou os

índices de desempenho ( $PI_{ABS}$  e  $PI_{TOTAL}$ ). Os teores de fenóis aumentaram nos genótipos CCN 51 e Catongo, já a preferência do pulgão foi reduzida com a aplicação de  $6 \text{ mL L}^{-1}$  de silicato de potássio apenas no TSH 1188. Em função dos resultados obtidos nos dois experimentos, a aplicação de silício é promissora no aumento da resistência do cacauzeiro a insetos-praga, uma vez que promove o aumento da atividade fotossintética da planta e da produção de metabólitos envolvidos nos mecanismos de defesa do cacauzeiro.

Palavras-chave: silício, nutrição mineral, indução de resistência, fluorescência da clorofila *a*, compostos fenólicos, trocas gasosas.



## ABSTRACT

PINTO, Diego Guimarães. M.Sc. Federal University of Espírito Santo. February 2011. **Photosynthesis, growth and chemical composition in plants of *Theobroma cacao* L. subjected to different concentrations of potassium silicate and its interaction with insect-pests.** Marco Antonio Aguilar Galeas (Supervisor); Diolina Moura Silva (Co-advisor).

The control of insect pests through the use of pesticides, is still the most method used in the cultivation of cocoa. However, due to environmental issues, there need to seek new alternatives of control less harmful the environment and to humans. In this context, silicon is a nutrient that is being used in various cultures, due to its beneficial effects on plant physiology and protection to the attack of insect pests and disease. The aim of this study was to evaluate the photosynthesis, growth and chemical composition in three cacao genotypes under different concentrations of potassium silicate and its interaction with insect pests. Two experiments were conducted, the first being installed under an agroforestry system comprising *Bactris gasipaes* and *Theobroma cacao*, in a randomized block design, with four replications, in a factorial 3 x 3, consisting of three genotypes (TSH 1188, CCN 51 and Catongo), three doses of potassium silicate (0, 3 and 6 mL L<sup>-1</sup>) applied to leaves. Were conducted evaluations of vegetative growth, of kinetics of fluorescence emission from chlorophyll *a*, of chlorophyll content, of incidence and degree of damage caused by insect pests, beyond from the silicon content in the leaves. The growth of cacao genotypes was reduced with the application of doses of potassium silicate, possibly due to the partition of assimilates that were being used in the biosynthesis of compounds involved in plant resistance to insects. The genotype TSH 1188 showed the highest increase in growth and dry matter compared to CCN 51 and Catongo, being the only genotype that showed the highest content of chlorophyll and improvement in parameters of chlorophyll fluorescence when applied to 3 mL L<sup>-1</sup> potassium silicate, mainly in the energy flow of photosystem II and the index of performance of the plant for absorption (PI<sub>ABS</sub>) and total (PI<sub>TOTAL</sub>). The application of potassium silicate at dose 6 mL L<sup>-1</sup> significantly reduced the incidence and level of damage by insect pests in cocoa genotypes. However, did not have significant effect of the application of potassium silicate on the silicon content in the leaves of the genotypes of cacao studied in relation to the control. The second experiment was conducted in a greenhouse with the same treatments and statistical design of experiment previous. In it were evaluated gas exchange, foliar concentrations of soluble phenolic compounds total, the chlorophyll fluorescence *a*, besides a preference test with a chance of free choice with aphids. The highest rates of photosynthesis and stomatal conductance were found in TSH 1188 and CCN 51. These same genotypes showed higher index of performance (PI<sub>ABS</sub> and PI<sub>TOTAL</sub>), a result of increased density of centers reaction active of photosystem II (RC/ABS), quantum yield of PSII ( $\phi P0 / (1-\phi P0)$ ) and efficiency of reactions redox beyond the quinone  $a-(\psi_0/1-\psi_0)$ . The application of potassium silicate increased net photosynthesis, but did not affect the performance indices (PI<sub>ABS</sub> and PI<sub>TOTAL</sub>). The phenolic content increased in genotypes CCN 51 and Catongo, the preference of the aphid was reduced with application of 6 mL L<sup>-1</sup> of potassium silicate only in TSH

1188. Due on the results from the two experiments, application of silicon is promising to increase the resistance of cacao insect pests, since it promotes the increase of photosynthetic activity and production of plant metabolites involved in defense mechanisms of the cacao tree.

Keywords: silicon, mineral nutrition, resistance induction, fluorescence of chlorophyll a, phenolic compounds, gas exchange.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	13
<b>2 METODOLOGIA GERAL</b> .....	19
2.1 EXPERIMENTO 1 .....	19
2.1.1 Material vegetal e condições de cultivo .....	19
2.1.2 Crescimento e teor foliar de silício .....	21
2.1.3 Emissão de fluorescência da clorofila “a” e teores de clorofila .....	22
2.1.4 Incidência e nível de dano provocado por insetos-praga.....	24
2.1.5 Delineamento experimental e análise estatística .....	24
2.2 EXPERIMENTO 2 .....	25
2.2.1 Fotossíntese .....	25
2.2.2 Determinação dos teores de fenóis solúveis totais .....	27
2.2.3 Teste de preferência com chance de livre escolha .....	27
2.2.4 Delineamento experimental e análise estatística .....	28
<b>3 REFERÊNCIAS</b> .....	29
<b>4 RESULTADOS</b> .....	33
<b>ARTIGO 1 - Fotossíntese, crescimento e incidência de insetos-praga em genótipos de cacau pulverizados com silício</b> .....	33
<b>Resumo</b> .....	34
<b>Abstract</b> .....	34
<b>Introdução</b> .....	35
<b>Material e Métodos</b> .....	36
Material vegetal e condições de cultivo .....	36
Crescimento .....	37
Fluorescência da clorofila a e teor de clorofila .....	37
Incidência e nível de dano provocado por insetos-praga .....	38
Biomassa seca e teor de silício .....	39
Análise estatística .....	39

<b>Resultados e Discussão</b> .....	39
Crescimento .....	39
Índice de clorofila e fluorescência da clorofila a .....	40
Teor de silício nas folhas.....	43
Incidência e nível de danos provocado por insetos-praga .....	44
<b>Conclusões</b> .....	45
<b>Agradecimentos</b> .....	46
<b>Referências</b> .....	46
<b>Tabelas</b> .....	52
<b>Figuras</b> .....	57

<b>ARTIGO 2 - Influência do silício sobre a fotossíntese e o teor de fenóis solúveis totais envolvidos na resistência do cacaueteiro a pulgões (<i>Toxoptera aurantii</i> B.)</b>	58
<b>RESUMO</b> .....	59
<b>ABSTRACT</b> .....	59
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	60
<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	61
Material vegetal e condições de cultivo.....	61
Fotossíntese.....	62
Determinação da concentração de fenóis solúveis totais.....	63
Teste de preferência com chance de livre escolha .....	64
Delineamento experimental e análise estatística .....	64
<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	64
Trocas gasosas foliares .....	64
Fluorescência da clorofila a.....	66
Concentrações de fenóis solúveis totais .....	68
Teste de preferência com chance de livre escolha .....	69
<b>CONCLUSÕES</b> .....	70
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	70
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	70
<b>TABELAS E FIGURAS</b> .....	76
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	83

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

O cacauero (*Theobroma cacao* L.) é uma planta perene arbórea, de clima tipicamente tropical, originário na região do alto Amazonas (ALMEIDA & VALLE, 2007), sendo encontrado em seu habitat, nas Américas, tanto nas terras baixas, dentro de bosques escuros e úmidos sob a proteção de grandes árvores, como em florestas menos exuberantes e relativamente menos úmidas, em altitudes variáveis (CEPLAC, 2009). Esta espécie foi inicialmente classificada na família Sterculiaceae segundo Cronquist (1981), no entanto, estudos filogenéticos recentes a incluíram na família Malvaceae, junto ao gênero *Theobroma* (ALVERSON et al., 1999; SOUZA; LORENZI, 2005).

A principal importância econômica do cacau é o consumo de chocolate sob as mais variadas formas em todo o mundo, principalmente em países de clima frio, e também pela utilização da manteiga de cacau nas indústrias farmacêuticas e de cosméticos. A polpa do fruto também é bastante apreciada, conquistando mercados, inclusive internacionais. Já o mel do cacau, extraído da polpa de suas sementes, pode ser utilizado na fabricação de vinho, vinagre, licores e geléias (MENEZES; CARMO-NETO, 1993).

No Brasil, o cacauero adaptou-se perfeitamente ao clima e solos do Sul da Bahia, trazendo desenvolvimento principalmente para a região de Ilhéus e Itabuna (CUENCA; NAZARIO, 2004). No Espírito Santo, o cacauero foi introduzido pela primeira vez no município de Linhares em 1895, no qual, se estabeleceu principalmente na região do baixo Rio Doce (COSTA, 1989). Esse município se destaca no cenário nacional de produção de cacau, ocupando a 3ª posição entre os maiores produtores. Atualmente, cerca de 20 mil hectares das terras do município de Linhares estão cultivadas com *T. cacao*, o que representa aproximadamente 95% da área plantada com essa espécie no estado. A média de produção do município é de cerca de 10 mil toneladas por ano, podendo atingir 14 mil toneladas em anos de temperatura e preço favoráveis (BISI, 2011).

Em relação à produção, o Brasil produziu em 2010 em torno de 155 mil toneladas/ano de amêndoas secas de cacau, ocupando o sexto lugar no mercado

mundial, sendo que os países africanos se destacam com aproximadamente 70% da cadeia produtiva mundial de cacau (INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION - ICCO, 2011).

Para estabelecimento e manutenção da produtividade, a lavoura cacaueteira requer cuidados necessários para seu desenvolvimento, tais como, podas regulares, instalação de quebra ventos e principalmente controle de pragas (SEAGRI-BA, 2009).

Dentre os fitopatógenos, destaca-se o fungo *Moniliophthora (=Crinipellis) perniciosa* (Stahel) Singer (AIME; PHILLIPS-MORA, 2005), causador da doença vassoura-de-bruxa, uma das mais importantes e destrutivas doenças do cacaueteiro, podendo causar perdas de até 90% na produção. As medidas para o controle da vassoura-de-bruxa recomendadas atualmente, envolvem métodos de controle cultural, químico, biológico e principalmente genético. Contudo, tem-se observado que, embora existam clones que apresentam elevados níveis de resistência a doenças, como por exemplo, à vassoura-de-bruxa, estes têm apresentado menos resistência ao ataque de insetos-praga (AGUILAR<sup>1</sup>, 2010).

Os principais insetos-praga que atacam o cacaueteiro são divididos em dois grupos, sendo os temporários e os permanentes (GRAMACHO et al., 1992). Os temporários são aqueles que se apresentam em maior volume em determinados meses do ano. Exemplos: Pulgões (*Toxoptera aurantii* B.), Tripes (*Selenothrips rubrocinctus*), Percevejo (*Monalonion spp.*), Vaquinhas (*Colaspis spp. Taimbenzinha theobromae* e *Percolaspis ornata*), Broca-do-tronco (*Xilosandrus morigerus* e *Theoborus villosulus*), Carneirinhos (*Lordops aurosa*, *Lasiopus cilipes* e *Naupactus bondari*), Lagartas (*Stenoma decora*, *Peosina mexicana* e *Sylepta prorogata*) e pulgões (*Toxoptera auranti*). Já os permanentes, são as que se encontram presentes durante o ano inteiro. Ex. Formiga-de-enxerto (*Azteca paraensis bondari*), Formiga caçarema (*Azteca chartifex*), Formiga pixixica (*Wasmannia auropunctata*), Formiga quem-quem (*Acromyrmex subterraneus bruneus*), Saúva-da-mata (*Atta cephalotes*) e Sauva-da-

---

<sup>1</sup> AGUILAR, M. A. G. Pesquisador da Estação Experimental Filogônio Peixoto – ESFIP/CEPLAC. Comunicação pessoal, 2010.

mandioca (*Atta sexdens sexdens*). A maior parte desses insetos ataca principalmente áreas menos sombreadas, isto é, onde se raleou demais a mata e o sol bate diretamente nos cacauzeiros, ou em regiões quentes e períodos de seca. Eles são responsáveis por causar destruição de todas as partes da planta, principalmente as folhas, alguns destes insetos também podem causar perfurações de brotos e frutos atingindo as sementes, e sugar a seiva das raízes, caules, ramos, folhas e frutos, causando o definhamento completo dos mesmos (GALLO et al., 2002). Além disso, em alguns casos são vetores de doenças, principalmente as causadas por vírus e, sua simples transmissão pode aniquilar completamente a lavoura (LAWRENCE; CAMPÊLO; FIGUEIREDO, 1991; ENCARNAÇÃO et al., 1998).

Para reduzir os danos provocados por insetos-praga na cultura do cacau, ainda faz-se necessário à utilização de produtos químicos visando o controle, não só de populações de insetos, mas também de plantas daninhas em alta diversidade e de doenças (MOREIRA et al., 1996). No entanto, o método de controle químico tem sido muito questionado, pois o uso indiscriminado e não planejado de tais defensivos, pode provocar o surgimento de novas pragas, contaminação do solo e água, acúmulo de resíduos nos alimentos, mortalidade dos indivíduos benéficos (polinizadores e inimigos naturais), intoxicação ou morte do aplicador, além do desequilíbrio biológico (PARRA et al., 2002). Daí a importância em se pensar em alternativas para minimizar os danos provocados por insetos na lavoura cacauzeira, que sejam eficientes, pouco prejudiciais ao ambiente, e que contribuam, cada vez mais, para a redução do uso de produtos químicos na agricultura. Desse modo, será possível reduzir as perdas provocadas por insetos-praga, ao mesmo tempo em que se reduz os custos no controle destes, proporcionando assim, um maior desenvolvimento da planta e maior produção de cacau e renda para o cacauicultor.

Um dos enfoques da agricultura alternativa é o controle de pragas, por meio da indução de resistência em plantas, por se tratar de um método ecologicamente correto e economicamente viável. A resistência induzida envolve a ativação do sistema de autodefesa da planta, mecanismos estes latentes de resistência, que pode ser obtida pela aplicação de agentes elicitores bióticos, como microorganismos viáveis ou inativados ou por agentes elicitores abióticos (STADNIK, 2000). Estes

elicitores ocorrem de maneira não específica, por meio da ativação de genes que codificam diversas respostas de defesa da planta, não alterando o seu genoma (PASCHOLATI; LEITE, 1995).

Atualmente, tem-se usado silício para induzir a resistência em plantas (FAWE et al., 2001). Pesquisas mais recentes demonstraram que o silício, mesmo não sendo considerado um elemento essencial do ponto de vista fisiológico (MALAVOLTA et al., 1997), quando colocado à disposição das plantas contribui para o seu crescimento e produção, em função do aumento do teor de clorofila e das taxas fotossintéticas, do aproveitamento de nutrientes e indução de resistência às doenças fungicas e aos insetos-praga (EPSTEIN, 2001). Por isso, é classificado como elemento benéfico ou útil para a maioria dos vegetais (MARSCHNER, 1995). Além disso, todos esses benefícios levaram o Si a ser incluído na lista de micronutrientes criada a partir do decreto-lei nº 4.954 (que regulamenta a lei 6.894 de 16/01/1980), aprovado em 14 de janeiro de 2004, que dispõe sobre a produção e comercialização de fertilizantes (BRASIL, 2004).

O Si é absorvido pelas plantas na forma de ácido monossilícico ( $H_4SiO_4$ ), juntamente com a água, e transportado pelo xilema, sendo depositado na folha, na epiderme logo abaixo da cutícula, mais precisamente nas paredes celulares mais externas na forma de sílica amorfa hidratada. Uma vez depositado, o Si tornar-se imóvel e não mais se redistribui na planta (KORNDÖRFER, 2009). Na planta, os depósitos de silício se concentram nos tecidos de suporte (caule e folhas), ocorrendo, com maior frequência, na epiderme foliar. Além disso, também pode ser encontrado em pequenas concentrações em grãos, sendo que, no geral, o conteúdo de silício nas raízes é menor do que na parte aérea (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2003).

As plantas podem diferir bastante na sua capacidade de absorver e acumular silício, sendo que genótipos de uma mesma espécie podem apresentar diferentes concentrações de silício (NABLE; LANCE; CARTWRIGHT, 1990). Desse modo, as plantas são caracterizadas em três tipos quanto à absorção de Si: *acumuladoras*, com um teor foliar acima de 1% de Si, como arroz e trigo; plantas como soja e cucurbitáceas são consideradas intermediárias, com 0,5% a 1% de Si; e as plantas



*não-acumuladoras*, que possuem concentração de Si na massa seca inferior a 0,5% (MA; MIYAKE; TAKAHASHI, 2001).

O mecanismo pelo qual o Si exerce seu efeito protetor ao ataque de patógenos e insetos pode ser devida ao seu acúmulo e polimerização nas células, formando uma barreira mecânica que dificulta o ataque de pragas (KORNDÖRFER, 2009) e, ou, pela sua ação como elicitador do processo de resistência induzida, promovendo o aumento da síntese de metabólitos secundários, como por exemplo, de compostos fenólicos (CHÉRIF; ASSELIN; BÉLANGER, 1994).

Os fenóis são produzidos em células especializadas distribuídas pelos tecidos, ao acaso ou em locais estratégicos, por meio de diferentes rotas envolvendo principalmente a do ácido xiquímico e a rota do ácido malônico, sendo posteriormente armazenados em vesículas, na sua forma original ou glicosilada (ISAAC, 1992). Estes compostos possuem diferentes efeitos sobre os insetos. Eles são ativados por oxidação, atuando como inibidores digestivos pela sua toxicidade, impedindo o inseto de continuar a sua alimentação (BECKMAN, 2000).

Além dos mecanismos bioquímicos envolvidos na resistência das plantas a estresses, o efeito das alterações ambientais no metabolismo fotossintético também pode ser verificado por meio de medições da atividade fotossintética (assimilação de CO<sub>2</sub>, transpiração, condutância, entre outros), ou por meio da análise da cinética de emissão de fluorescência da clorofila *a* que podem fornecer informações importantes sobre o estado fisiológico das plantas (LAMBERS; CHAPIN; PONS, 1997). Por se tratar de um método rápido, sensível e não destrutivo, a técnica de medição da emissão da fluorescência da clorofila “*a*” permite a análise qualitativa e quantitativa da absorção e aproveitamento da energia luminosa pelo fotossistema II e possíveis relações com a capacidade fotossintética (BAKER; ROSENQVIST, 2004).

Além disso, as medições da cinética de emissão da fluorescência têm permitido uma avaliação apurada do estado funcional do aparelho fotossintético, por ser capaz de detectar alterações estruturais e funcionais do complexo proteína-pigmento do fotossistema II e possibilitar repostas sobre a eficiência fotoquímica e processos não fotoquímicos de excitação envolvendo a conversão de energia luminosa sob

diferentes condições de estresse como temperatura, presença de insetos ou fungos, herbicidas entre outros (OLIVEIRA; ALVES; MAGALHÃES, 2002; BOWN; HALL; MACGREGOR, 2002; PETERSON; AYLOR, 1995).

As pesquisas envolvendo o efeito de Si na resistência do cacau a insetos-praga são necessárias, uma vez que, até o momento, estas foram direcionadas no sentido de verificar os efeitos deste elemento sobre doenças e não sobre insetos-pragas. Além disso, os aspectos fisiológicos e bioquímicos influenciados pelo Si e que condicionam reações de resistência a pragas ainda são pouco conhecidos.

Diante o exposto, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar a fotossíntese, o crescimento e a composição química em três genótipos de cacau submetidos a diferentes concentrações de silicato de potássio e sua interação com insetos-praga; e como objetivos específicos: avaliar o crescimento, as trocas gasosas e a cinética de emissão de fluorescência da clorofila "a" em nível foliar, além dos teores foliares de clorofila total, de silício e de fenóis solúveis totais, bem como a incidência e o nível de dano provocado por insetos-praga em três genótipos de cacau pulverizados com silicato de potássio.

## **2 METODOLOGIA GERAL**

Para este estudo, foram realizados dois experimentos em períodos distintos, o primeiro foi conduzido em campo e o segundo em casa de vegetação. Os dois experimentos foram instalados na Estação Experimental Filogônio Peixoto (ESFIP), pertencente ao Centro de Pesquisas do Cacau (CEPEC), órgão de pesquisa da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), às margens da BR-101 localizada no Município de Linhares, estado do Espírito Santo.

### **2.1 EXPERIMENTO 1**

#### **2.1.1 Material vegetal e condições de cultivo**

O ensaio foi conduzido com mudas seminais dos genótipos TSH 1188, CCN 51 e Catongo, sendo os dois primeiros de boa aceitação entre os cacauicultores da região e resistentes a vassoura-de-bruxa. As sementes foram coletadas na própria estação da CEPLAC e inicialmente pré-germinadas em água corrente e, após três dias, quando se verificou a protrusão da raiz primária, plantadas em sacolas de polietileno de 28x15cm contendo substrato, utilizado conforme recomendado pela ESFIP/CEPLAC, no traço 3:1:1 de terra, areia e esterco de curral, mais 700g de superfosfato simples, previamente selecionado por análises químicas e físicas do solo com quantidades traços de silício (Tabela 1). As mudas receberam irrigação diária e os tratamentos culturais conforme preconizado por Marques et al. (2006).

**Tabela 1.** Resultado das análises química e física do substrato utilizado no experimento.

Parâmetro Analisado	Unidade	Valor	Classificação*
Fósforo	mg/dm <sup>3</sup>	140,0	Alto
Potássio	mg/dm <sup>3</sup>	230,0	Alto
Enxofre	mg/dm <sup>3</sup>	7,0	Médio
Cálcio	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	3,6	Médio
Magnésio	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	1,6	Alto
Alumínio	cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	0,0	-
pH	-	7,05	Neutro
Matéria Orgânica	dag/kg	2,4	Médio
Ferro	mg/dm <sup>3</sup>	307,0	Alto
Zinco	mg/dm <sup>3</sup>	24,0	Médio
Cobre	mg/dm <sup>3</sup>	4,0	Baixo
Manganês	mg/dm <sup>3</sup>	217,0	Alto
Boro	mg/dm <sup>3</sup>	0,34	Baixo
Sódio	mg/dm <sup>3</sup>	178,7	Alto
Silício	mg/dm <sup>3</sup>	6,0	Baixo
Saturação de bases	(%)	82,4	Alto

\* Informações baseadas nos manuais de Recomendação de Adubação dos Estados do Espírito Santo (2001 e 2007), Minas Gerais (1999) e São Paulo (1996), cedidas pela empresa FULLIN.

Decorrido 45 dias após o plantio, as mudas foram transportadas para o campo (Figura 1), e colocadas sob um sistema agroflorestal, constituído por pupunha (*Bactris gasipaes* K.) e cacauzeiros, para aplicação dos tratamentos e obtenção de condições ambientais naturais favoráveis ao ataque de insetos-praga.



**Figura 1.** Vista parcial do experimento 1 instalado em campo, sob sistema agroflorestal.

Em campo, aplicaram-se os tratamentos constituídos de duas doses de Si, sendo 3 mL L<sup>-1</sup> e 6 mL L<sup>-1</sup>, e um controle pulverizado somente com água. Foram realizadas quatro aplicações da solução em intervalos de 15 dias, aspergida via foliar na face abaxial e adaxial, com borrifador manual num total de 20 borrifadas por planta, que correspondiam a 11 mL da solução/planta até o ponto de escorrimento (Figura 2). A fonte de silício utilizada foi o silicato de potássio contendo 10% de Si.



**Figura 2.** Aplicação dos tratamentos com borrifador manual.

### **2.1.2 Crescimento e teor foliar de silício**

As avaliações do crescimento foram realizadas antes e após última aplicação dos tratamentos, sendo os valores obtidos da última avaliação subtraídos pelos da primeira, obtendo-se assim o incremento do crescimento vegetativo. A área foliar (cm<sup>2</sup>) média por planta foi avaliada com o auxílio de uma régua milimetrada, medindo-se o maior comprimento e a maior largura da folha, multiplicando-se pelo fator de correção 0,66. A determinação da altura (cm) foi medida na base do “colete” até a inserção da gema apical também com a régua milimetrada. E para determinação do diâmetro do caule, foi utilizado um paquímetro, realizando duas medições num ângulo de 90° na base do “colete”.

No final do experimento, as mudas foram coletadas e separadas em raízes, caules e folhas, lavadas em água corrente e depois em água destilada, armazenadas em

papel, e colocadas em estufa a 70°C até massa constante. A seguir, as diferentes partes das plantas dos diversos tratamentos foram pesadas em balança semi-analítica para determinação da massa seca. A partir da massa seca foi determinado o teor de Si nas folhas, de acordo com metodologia descrita por Korndörfer, Pereira e Nolla (2004).

### 2.1.3 Emissão de fluorescência da clorofila “a” e teores de clorofila

A fluorescência da clorofila “a” foi avaliada na primeira folha completamente madura a partir do ápice do eixo ortotrópico durante cinco períodos (2, 4, 6, 8 e 14 dias após a última aplicação dos tratamentos), utilizando-se o fluorômetro portátil Plant Efficiency Analyser (Handy PEA, Hansatech Instruments, UK). As folhas foram inicialmente adaptadas ao escuro por 30 min usando um clipe foliar e em seguida, submetidas a um pulso saturante de luz vermelha de cerca de 3000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (pico de 650 nm com duração de 5 segundos). Os resultados foram tabulados com o programa PEA Plus. A partir do teste OJIP (STRASSER; TSIMILLI-MICHAEL; SRIVASTAVA, 2004), foram calculados os parâmetros de fluxo específico de energia do fotossistema II (FSII) por centro de reação: absorção (ABS/RC), captura (TRo/RC), transporte de elétron (ETo/RC) e dissipação (Dlo/RC). Também foi determinado a probabilidade de um fóton absorvido mover um elétron após a quinona A<sup>-</sup> (ETo/TRo =  $\psi_0$ ), a razão entre o número de centros de reação ativos de FSII e a quantidade de luz absorvida pelo complexo antena (RC/ABS), os rendimentos quânticos potencial máximo ( $\phi_{Po} = F_v/F_m$ ) e efetivo de FSII ( $\phi_{Po}/(1 - \phi_{Po}) = F_v/F_o$ ); além dos índices de desempenho da planta por absorção ( $PI_{ABS}$ ) e total ( $PI_{TOTAL}$ ), em que  $PI_{ABS} = RC/ABS \times [\phi_{Po}/(1 - \phi_{Po})] \times [\psi_0/(1 - \psi_0)]$  e  $PI_{TOTAL} = PI_{ABS} \times [\delta Ro/(1 - \delta Ro)]$  (TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008).

As medidas dos teores de clorofila total foram avaliadas com o clorofilômetro portátil (Chlorophyll Content Meter Model CL-01 Hansatech Instruments), pois este equipamento permite medições instantâneas do valor correspondente ao seu teor na folha sem destruí-la (DWYER; TOLLENAAR; HOUWING, 1991; ARGENTA; SILVA; BORTOLINI, 2001). As leituras foram realizadas na mesma folha e no mesmo período em que foi avaliada a cinética de emissão de fluorescência da clorofila a, e os resultados foram expressos em índice de clorofila (Figura 3).



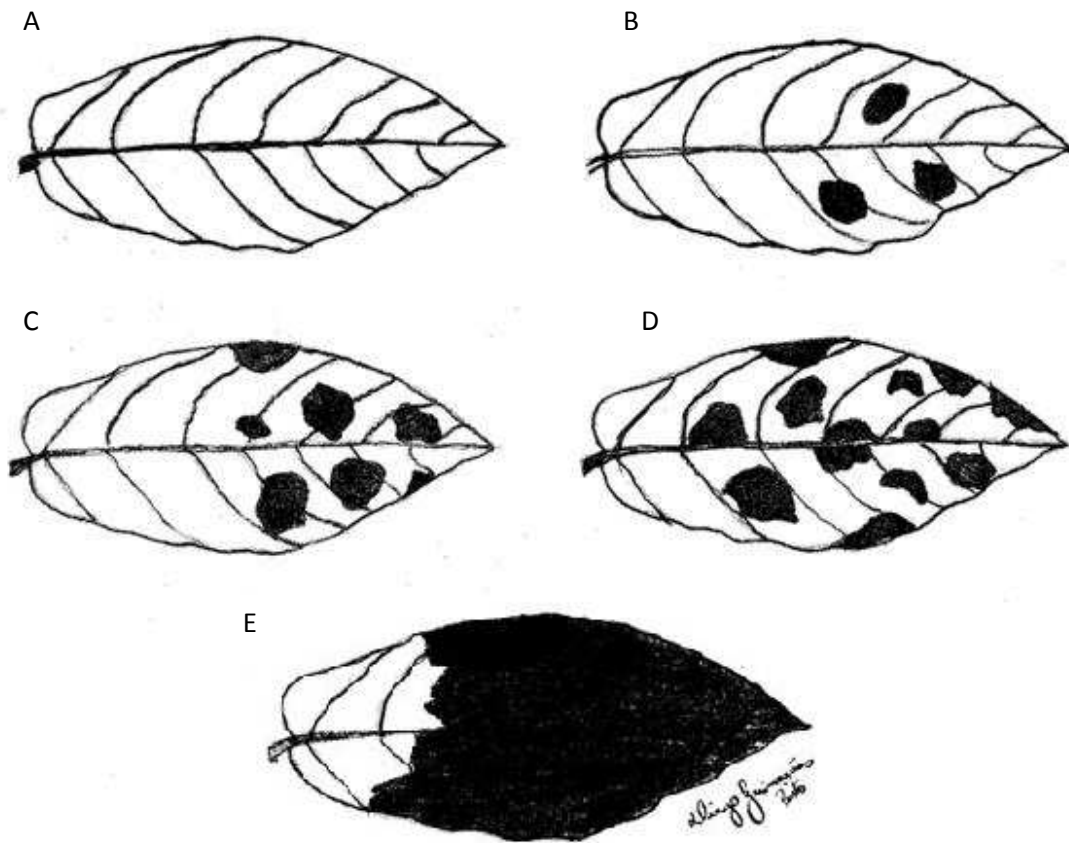
**Figura 3.** Avaliação da fluorescência da clorofila a, com Handy PEA (A) e do teor de clorofila total, com clorofilômetro (B).

**Tabela 2.** Definições dos parâmetros de fluorescência da clorofila a de acordo com Tsimilli-Michael e Strasser (2008).

PARÂMETROS	DESCRIÇÃO
F <sub>o</sub>	- Fluorescência inicial. Intensidade da fluorescência quando todos os centros de reação do fotossistema II estão abertos, isto é ou quando quinona A está totalmente oxidada.
ABS/RC	- Absorção de energia pelos pigmentos antenas do fotossistema II.
TR <sub>o</sub> /RC	- Captura da energia absorvida pelos pigmentos antena do fotossistema II para redução da feofitina e quinona A.
ET <sub>o</sub> /RC	- Transporte de elétrons além da quinona A reduzida para os aceptores de elétrons do intersistema (Q <sub>b</sub> , PQ, C <sub>b</sub> f, PC).
DI <sub>o</sub> /RC	- Dissipação de energia de excitação do centro de reação ativo.
ET <sub>o</sub> /TR <sub>o</sub> = $\psi_o$	- Eficiência que um elétron capturado pelo centro de reação do fotossistema II pode mover-se para cadeia transportadora de elétrons de quinona A reduzida para aceptores de elétrons do intersistema.
$\phi P_o = F_v/F_m$	- Rendimento quântico potencial máximo do fotossistema II.
RC/ABS	- A densidade de centros de reação ativos do fotossistema II.
$(\phi P_o / (1 - \phi P_o)) = F_v/F_o$	- Rendimento quântico máximo efetivo do fotossistema II.
$(\Psi_o / (1 - \Psi_o))$	- Eficiência das reações de oxi-redução além de quinona A reduzida.
$(\delta R_o / (1 - \delta R_o))$	A eficiência com que um elétron pode mover-se do acceptor de elétron reduzido do intersistema para o acceptor final do fotossistema I.
PI <sub>ABS</sub>	- Índice de desempenho baseada na capacidade de absorção de energia luminosa. É o produto de três componentes sendo: RC/ABS; [ $\phi P_o / (1 - \phi P_o)$ ]; [ $\Psi_o / (1 - \Psi_o)$ ].
PI <sub>TOTAL</sub>	- Índice de desempenho fotossintético até o acceptor final de elétrons no fotossistema I. É o produto de PI <sub>ABS</sub> e [ $\delta R_o / (1 - \delta R_o)$ ].

### 2.1.4 Incidência e nível de dano provocado por insetos-praga

A incidência de insetos-pragas foi avaliada pelo número de folhas atacadas por parcela por meio de contagem manual antes do início e após a última aplicação dos tratamentos. Já o nível de dano foi determinado pela área foliar lesionada por meio de uma escala de notas (Figura 4) e com auxílio do Software ImageJ versão 1.32j (Wayne Rasband National Institute of Health, USA) para o cálculo da porcentagem de área foliar perdida.



**Figura 4.** Área foliar lesionada de acordo com escala de notas, sendo: (A) Nota 0 - folha sem lesão; (B) Nota 1 - 1 a 25% de área foliar lesionada; (C) Nota 2- 26 a 50% de área foliar lesionada; (D) Nota 3- 51 a 75% de área foliar lesionada; (E) Nota 4- 76 a 100% de área foliar lesionada.

### 2.1.5 Delineamento experimental e análise estatística

O experimento foi instalado no delineamento de blocos casualizados (DBC), com quatro repetições, em arranjo fatorial 3 x 3, constituído de três genótipos, duas



doses de silicato de potássio mais um controle pulverizado com água para cada genótipo, totalizando 36 parcelas com 10 plantas cada. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey 5%.

## 2.2 EXPERIMENTO 2

As mudas deste ensaio foram produzidas conforme metodologia descrita no Item 2.1.1. Decorrido 45 dias após o plantio, as mudas foram transportadas para casa de vegetação, onde deu-se início à aplicação dos tratamentos constituídos dos mesmos citados no experimento 1 (Figura 5).

Após aplicação dos tratamentos, foram realizadas avaliações das trocas gasosas e da cinética de emissão da fluorescência da clorofila “a” em nível foliar, determinação do teor foliar de fenóis solúveis totais, além da incidência de insetos-praga por meio do teste de preferência com chance de livre escolha (COSTA; MORAES; ANTUNES, 2007).



**Figura 5.** Vista parcial do experimento 2 instalado em casa de vegetação.

### 2.2.1 Fotossíntese

As medidas de trocas gasosas foliares, foram realizadas, após a última aplicação dos tratamentos, com um medidor portátil de fotossíntese (LCpro, ADC Bioscientific

LTD., UK) e efetuadas na primeira folha madura a partir do ápice do eixo ortotrópico em irradiância saturante de  $800 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (Figura 6). Avaliou-se a taxa fotossintética líquida (A) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), a transpiração (E) ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), a condutância estomática (gs) ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) e a concentração interna de  $\text{CO}_2$  (Ci) ( $\text{mol mol}^{-1}$ ). A partir destes dados foram calculadas a eficiência instantânea do uso de água ( $\text{EUA}=\text{A}/\text{E}$ ) e a eficiência intrínseca do uso de água ( $\text{EIUA}=\text{A}/\text{gs}$ ) (ZHANG et al., 2001).



**Figura 6.** Avaliação das trocas gasosas foliares em casa de vegetação efetuadas com medidor portátil de fotossíntese.

As medições dos parâmetros relacionados à fluorescência da clorofila *a* foram efetuadas em folhas maduras a partir do ápice do eixo ortotrópico no mesmo período que as trocas gasosas, utilizando-se um fluorômetro portátil Plant Efficiency Analyser (Handy PEA, Hansatech Instruments, UK). As folhas selecionadas foram adaptadas ao escuro usando um clipe foliar durante um período de 30 min. Após a adaptação, as folhas foram expostas a um pulso de luz saturante de cerca de  $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (pico de 650 nm com duração de 5 segundos). Os resultados da cinética da fluorescência transiente foram tabulados com o programa PEA Plus para uma planilha eletrônica.

A partir do teste OJIP (STRASSER; TSIMILLI-MICHAEL; SRIVASTAVA, 2004), foram determinados a densidade do centro de reação ativo de FSII (RC/ABS); o

rendimento quântico máximo efetivo de FSII ( $\phi P_o / 1 - \phi P_o = F_v/F_o$ ); a eficiência das reações de oxi-redução além da quinona A reduzida ( $\Psi_o/1 - \Psi_o$ ); a eficiência com que um elétron pode mover-se do aceptor reduzido do intersistema para o aceptor final do FSI ( $\delta R_o/1 - \delta R_o$ ); além dos índice de desempenho da planta ( $PI_{ABS} = RC/ABS \times [\phi P_o / (1 - \phi P_o)] \times [\Psi_o/(1 - \Psi_o)]$  e  $PI_{TOTAL} = PI_{ABS} \times [\delta R_o/(1 - \delta R_o)]$ ) (TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008).

Os índices  $PI_{ABS}$  e  $PI_{TOTAL}$  incorporam os processos de cascata de energia dos primeiros eventos da absorção de energia pela antena de FSII até a redução de aceptores de elétrons do intersistema, e até a redução dos aceptores finais de elétrons de FSI, respectivamente, e fornecem informações do potencial das plantas para conservação de energia (TSIMILLI-MICHAEL; STRASSER, 2008).

### **2.2.2 Determinação do teor de fenóis solúveis totais**

Após aplicação dos tratamentos, foram coletadas folhas novas sem ataque e atacadas por pulgões das plantas, transportadas em isopor com gelo, e armazenadas em congelador a  $-20^\circ\text{C}$  até proceder as análises para determinação do teor de fenóis solúveis totais, conforme metodologia descrita por Aguilar (1999).

### **2.2.3 Teste de preferência com chance de livre escolha**

Também foi realizado um teste de preferência com chance de livre escolha com pulgões (*Toxoptera aurantii* B.) conforme metodologia descrita por Costa, Moraes e Antunes (2007) (Figura 7). Após aplicação dos tratamentos, folhas jovens com aproximadamente 4 cm de comprimento, foram retiradas de cada tratamento e colocadas em placas de Petri (14,5 cm) de forma equidistantes. Em seguida, 40 pulgões adultos foram liberados no centro da placa. Após a liberação dos insetos, as placas foram fechadas com filme plástico perfurado com alfinete e estas foram mantidas em temperatura ambiente com fotoperíodo de 12h. Realizou-se a contagem do número de pulgões adultos e ninfas presentes em cada folha 32 h após a liberação dos afídeos. Este teste foi conduzido, usando um delineamento experimental inteiramente casualizado, com 4 repetições, no laboratório da própria ESFIP em duplicata.

Optou-se por este teste de preferência com pulgões, em função da facilidade de coleta e manuseio destes insetos, e da incidência de afídeos, por ser elevada em viveiros de cacau; sendo responsáveis por limitar o crescimento das mudas, uma vez que se alimentam sugando a seiva, principalmente das folhas, provocando clorose e definhamento das mesmas, ou até mesmo podem injetando substâncias tóxicas e transmitindo vírus (GALLO et al., 2002). Além disso, a aplicação do teste de preferência com chance de livre escolha com pulgões tem sido bastante utilizada por diversos autores em várias culturas (COSTA; MORAES; ANTUNES, 2007; CAMARGO et al., 2008; COSTA; MORAES, 2006; CARVALHO; MORAES; CARVALHO, 1999), por ser um teste rápido, relativamente fácil de ser realizado e permitir a avaliação da resistência da planta aos referidos insetos



**Figura 7.** Teste de preferência com chance de livre escolha com pulgões (*Toxoptera aurantii*).

#### **2.2.4 Delineamento experimental e análise estatística**

O delineamento experimental e os tratamentos utilizados foram os mesmos aplicados no experimento 1. Os dados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey 5%.

### 3 REFERÊNCIAS

- AGUILAR, M. A. G. **Influência do manganês sobre os aspectos bioquímicos e fisiológicos da tolerância de Cacao (*Theobroma cacao* L.) à vassoura-de-bruxa - *Crinipellis perniciosa* (Stahel) (Singer)**. 1999. 199f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Viçosa, MG, 1999.
- ALMEIDA A.-A.F., VALLE R.R. Ecophysiology of the cacao tree. **Brazilian Journal of Plant Physiology**. v. 19, p. 425-448. 2007
- ALVERSON, S. et al. Phylogeny of the core Malvales: evidence from ndhf sequence data. **American Journal of Botany**, v. 86, n. 10, p. 1474-1486. 1999.
- ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Teor de clorofila na folha como indicador do nível de N em cereais. **Ciência Rural**, v. 31, n.3, p. 715-722, 2001.
- AIME, M. C.; PHILLIPS-MORA, W. The causal agents of witches broom and frosty pod rot of cacao (*Theobroma cacao* L.) chocolate form a new lineage of Marasmicaceae. **Mycologia**, n. 97, p. 1012-22, 2005.
- BAKER, N. R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v.55, p.1607-1621, 2004.
- BECKMAN, C. H. Phenolic-Storing cells: Keys to programmed cell death and periderm formation in with disease resistance and general defense responses in plants? **Physiological and Molecular Plant Pathology**, v.57, p. 101-110, 2000.
- BISI, A. **Manual ensina cacauicultores a renovar lavoura**. Disponível em: <[http://www.linhares.es.gov.br/Noticias/Noticia\\_Impressao.aspx?id=743](http://www.linhares.es.gov.br/Noticias/Noticia_Impressao.aspx?id=743)>. Acesso em: 05 jan. 2011.
- BOWN, A. W.; HALL, D. E.; MACGREGOR, K. B. Insect footsteps on leaves stimulate the accumulation of 4-aminobutyrate and can be visualized through increased chlorophyll fluorescence and superoxide production. **Plant Physiology**, v.129, n. 4, p. 1430-1434, 2002.
- BRASIL. Decreto nº 2954. Aprova o regulamento da lei 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e da outras providências. **Normas Jurídicas** (Texto Integral) – DEC 4954, 14 jan., 27p. 2004.
- CAMARGO, J. M. M. et al. Resistência induzida ao pulgão-gigante-do-pinus (Hemiptera: Aphididae) em plantas de *Pinus taeda* adubadas com silício. **Bragantia**, v.67, n.4, p. 927-932, 2008.
- CARVALHO, S. P.; MORAES, J. C.; CARVALHO, J. G. Efeito do silício na resistência do sorgo (*Sorghum bicolor*) ao pulgão-verde *Schizaphis graminum*

(Rond.) (Homoptera: Aphididae). **Anais da Sociedade Entomológica do Brasil**, v.28, n.3, p. 505-510. 1999.

CEPLAC. **Características Gerais do Cacau**. Disponível em: < <http://www.ceplac.goc.br/radar/cacau.htm> >. Acesso em: 08 nov. 2009.

CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, v.84, p.236-242, 1994.

COSTA, N. C. S. da. **Terra e povoamento na implantação da lavoura cacauera no Espírito Santo: Um estudo de caso: Linhares – 1900 a 1930**. 1989. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense, RJ, 1989.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C. Efeitos do ácido silícico e do acibenzolar-S-methyl sobre *Schizaphis graminum* (Rondani) (Hemiptera: Aphididae) em plantas de trigo. **Neotropical Entomology**, v.35, n.6, p. 834-839, 2006.

COSTA, R. R.; MORAES, J. C.; ANTUNES, C. S. Resistência induzida em trigo ao pulgão *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (HEMIPTERA: APHIDIDAE) por silício e acibenzolar-s-methyl. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 2, p. 393-397, 2007.

CRONQUIST, A. **An integrated system of classification of flowering plants**. New York : Columbia University Press, 269p., 1981.

CUENCA, M. A. G.; NAZÁRIO, C. C. **Importância Econômica e Evolução da Cultura do Cacau no Brasil e na Região dos Tabuleiros Costeiros da Bahia entre 1990 e 2002**. 25p. Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros. n. 72. 2004.

DWYER, L.M.; TOLLENAAR, M.; HOUWING, L. A nondestructive method to monitor leaf greenness in corn. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 71, p. 505-509, 1991.

ENCARNAÇÃO, A. M. V. da. et al. **Pragas Quarentenárias do Cacauero: V. *Sahlbergella singularis* (Hagl.)**. Encarte técnico CEPLAC/CEPEC, Ilhéus, 1998.

EPSTEIN, E. Silicon in plants: Facts vs. Concepts. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon on Agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 2001, p.149-158.

FAWE, A. et al. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in agriculture**. The Netherlands: Elsevier Science, 2001, p. 159-166.

GALLO, D. et al. **Entomologia Agrícola**. v.10. Piracicaba: FEALQ, 2002. 920p.

GRAMACHO, I. C. P. et al. Cultivo e beneficiamento do cacau. **CEPLAC – Ministério da Agricultura e Reforma Agrária**. p.66-73. 1992.

INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION - ICCO. **Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics, Vol. XXXVI, No. 3, Cocoa year 2009/2010.** Disponível em: < [www.icco.org](http://www.icco.org) >. Acesso em: 05 jan. 2011.

ISAAC, S. **Fungal-plant interactions.** New York: Chapman & Hall, 1992. 418p.

KORNDÖRFER, G. H. **Uso do silício na agricultura.** Disponível em: <<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/Efeitos/Efeitos.htm> >. Acesso em: 24 jun. 2009.

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura.** Boletim Técnico - Instituto de Ciências Agrárias – UFU, Uberlândia, n. 1, 2. ed., 2003.

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

LAMBERS, H.; CHAPIN III, F. S.; PONS, T. L. **Plant Physiological Ecology.** New York: Spring-Verlag. 1997.

LAWRENCE, J. S.; CAMPÊLO, A. M. F. L.; FIGUEIREDO, J. M. **Enfermidades do cacauzeiro. IV – Doenças viróticas. Agrotópica, v.3, p.115-118, 1991.**

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. **Silicon as a beneficial element for crop plant.** In: *Silicon in Agriculture.* Edited by DATNOFF, L. E., KORNDÖRFER, G. H., SNYDER, G. New York: Elsevier science. 2001. p.17-39

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: Encarte Potafos, 319 p. 1997.

MARQUES, S. C. et al. **Cultivo do Cacauzeiro.** CEPEC/CEPLAC: NEPLI, 48p. 2006.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2 ed. London: Academic Press, p. 313-435. 1995.

MENEZES, J. A. S.; CARMO-NETO, D. **A modernização do agribusiness cacau.** 2 ed. Campinas, Fundação Cargil, 1993. 180p.

MOREIRA, L. F. et al. **Impacto ambiental e administração de problemas toxicológicos na utilização de inseticidas agrícolas. Caderno de Administração Rural, v. 8, p. 28-31, 1996.**

NABLE, R. O.; LANCE, R. C. M.; CARTWRIGHT, B. **Uptake of boron and silicon barley genotypes with differing susceptibilities to boron toxicity. Annal of Botany, v.66, p.83-90, 1990.**

OLIVEIRA, J. G.; ALVES, P. L. C. A.; MAGALHÃES, A. C. **The effect of chilling on the photosynthetic activith in coffe (Coffea arabica L.) seedlings. The protective action of chloroplastid pigments. Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 14, n. 2, p. 95-104, 2002.**

PARRA, J. R. P. et al. **Controle biológico no Brasil: parasitóides e predadores**. São Paulo: Manole, 2002. 609p.

PASCHOLATI, S. F.; LEITE, B. **Hospedeiro: mecanismos de resistência**. In: BERGAMIN FILHO, A.; KIMATI, H.; AMORIM, L. (Eds.) Manual de Fitopatologia – Princípios e Conceitos. São Paulo. Ed. Agronômica Ceres. p. 417-454. 1995.

PETERSON, R. B.; AYLOR, D. E. Chlorophyll fluorescence induction in leaves of *Phaseolus vulgaris* infected with bean rust (*Uromyces appendiculatus*). **Plant Physiology**, v. 108, p. 163-171, 1995.

SEAGRI-BA. **Secretaria de Agricultura, Irrigação e Reforma Agrária – BA**. Disponível em: <<http://www.seagri.ba.gov.br/cacau1.htm>>. Acesso em: 08 jul. 2009.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: Guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. Nova Odessa, SP: Instituto Plantarum, 2005. 640p.

STADNIK, M. **Indução de resistência a oídios**. In: CONGRESSO PAULISTA DE FITOPATOLOGIA, 23. Campinas. Anais do Congresso Paulista de Fitopatologia. Campinas: GPF. p. 176-181. 2000.

STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the fluorescence transient. In: GEORGE, C.; PAPAGEORGIU, C.; GOVINDJEE (Ed.). **Chlorophyll fluorescence: A signature of photosynthesis. Advances in photosynthesis and respiration Series**. Springer, Dordrecht, 2004. p. 321-362.

TSIMILLI-MICHAEL, M., STRASSER, R. In vivo assessment of stress impact on plants vitality: applications in detecting and evaluating the beneficial role of Mycorrhization on host plants. In: VARMA, A. (Ed.). **Mycorrhiza: State of the art, genetics and molecular biology, ecofunction, biotechnology, eco-physiology, structure and systematic**. Springer, 2008. p. 679-703.

ZHANG, S.; LI, Q.; MA, K.; CHEN, L. Temperature dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO<sub>2</sub> assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday higher irradiance. **Photosynthetica**, v.39, p. 383-388, 2001.



## 4 RESULTADOS

### ARTIGO I

#### **Fotossíntese, crescimento e incidência de insetos-praga em genótipos de cacau pulverizados com silício.**

Diego Guimarães Pinto<sup>(1)</sup>, Marco Antonio Galeas Aguiar<sup>(2)</sup>, Carlos Alberto Spaggiari Souza<sup>(2)</sup>, Diolina Moura Silva<sup>(1)</sup>, Paulo Roberto Siqueira<sup>(2)</sup> e Jelber Rigato Cao<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal. Av. Fernando Ferrari, n.514, Campus Universitário Alaor Queiroz de Araújo, CEP 29075-910, Vitória, ES, Brasil. E-mail: diegog.pinto@gmail.com, diu@terra.com.br

<sup>(2)</sup> Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC/ESFIP), Rua Augusto Pestana, 1122, CEP 29900-192, Linhares, ES, Brasil. E-mail: magaguiar@uol.com.br, ceplacesfip@gmail.com, siqueira@ceplac.gov.br

<sup>(3)</sup> Rua Capitão José Maria, 272, Bairro Araçá, CEP: 29901-452, Linhares, ES, Brasil. E-mail: jelberrigato@bol.com.br

Artigo submetido a revista **Pesquisa Agropecuária Brasileira**.

Resumo – O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, a fluorescência da clorofila *a*, o teor foliar de Si e de clorofila, além da incidência e nível de dano provocado por insetos-praga após aplicação de silicato de potássio em *Theobroma cacao* L. O experimento foi conduzido em condições de campo, no delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial 3 x 3 com 4 repetições. Os tratamentos foram 3 genótipos de cacau (TSH 1188, CCN 51 e Catongo) e 3 doses de silicato de potássio (0; 3 e 6 mL L<sup>-1</sup>). A aplicação de silicato de potássio na dose 6 mL L<sup>-1</sup> reduziu a maioria das variáveis de crescimento. O TSH 1188 foi o único genótipo que apresentou incremento no índice de clorofila e no desempenho das variáveis de fluorescência com a aplicação de 3 mL L<sup>-1</sup>. A aplicação de silicato de potássio não aumentou o teor foliar de Si nos genótipos estudados, mas reduziu a incidência e o nível de dano provocado por insetos-praga.

Termos para indexação: *Theobroma cacao*, silicato de potássio, fluorescência da clorofila *a*, indução de resistência.

**Photosynthesis, growth and incidence of insect pest in cacao genotypes sprayed with silicon.**

Abstract – The aim of this study was to evaluate the growth, chlorophyll fluorescence, the leaf content of Si and chlorophyll, and the incidence and degree of damage caused by insect pests after application of potassium silicate in *Theobroma cacao* L. The experiment was conducted under field conditions, in randomized block design, in factorial 3 x 3 with four replications. The treatments were three genotypes of cocoa (TSH 1188, CCN 51 and Catongo) and three doses of potassium silicate (0, 3 and 6 mL L<sup>-1</sup>). The application of potassium silicate at a dose 6 mL L<sup>-1</sup> reduced the most variables of growth. The TSH 1188 was the only genotype that showed an increase in chlorophyll content and performance of variable fluorescence with the

application of 3 mL L<sup>-1</sup>. The application of potassium silicate has not increased the leaf content of Si in the genotypes studied, but reduced the incidence and level of damage by insect pests.

Index terms: *Theobroma cacao*, potassium silicate, chlorophyll *a* fluorescence, induction of resistance.

### **Introdução**

A incidência de doenças e o ataque natural de insetos-praga é um dos principais problemas que afetam a produtividade em diversas culturas agrícolas, inclusive a do *T. cacao*. Em regiões quentes e períodos de seca, a incidência de doenças é menor, mas o aumento da frequência de insetos-praga pode ser limitante para o desenvolvimento das plantas (Souza & Dias, 2001), uma vez que estes insetos podem se alimentar de estruturas vegetais, principalmente das folhas, reduzindo a área foliar (Macedo et al., 2003) ou sugando a seiva dos tecidos, podendo provocar alterações no tamanho e frequência estomática, removendo a clorofila e conseqüentemente reduzindo as taxas fotossintéticas (Pachepsky & Acock, 1996).

O uso de agroquímicos no controle da população de insetos é cada vez mais comum na agricultura, no entanto, seu uso indiscriminado, além de aumentar os custos de produção, pode trazer conseqüências graves ao meio ambiente, inclusive ao homem (Araújo et al., 2000). Desse modo, pesquisas que visam buscar o controle natural de insetos na lavoura cacaeira são fundamentais para o desenvolvimento rotineiro de práticas que contribuam, cada vez mais, para a redução do uso de agroquímicos na agricultura. Uma alternativa que começa ser intensamente avaliada é o uso da nutrição mineral no controle de pragas, com a utilização do nutriente silício (Si).

Os mecanismos pelos quais o Si pode conferir resistência a pragas pode ser devido à associação da sílica com os constituintes da parede celular, tornando os tecidos foliares mais rígidos e menos acessíveis às enzimas degradativas (Dayanandam et al., 1983). Além disso, o

Si também pode provocar aumento na capacidade fotossintética, tornar as plantas mais eretas, reduzir a transpiração, aumentar a produção e, principalmente, incrementar a resistência a estresses bióticos e abióticos (Lana et al., 2003). Desse modo, todos esses benefícios levaram o Si a ser incluído na lista de micronutrientes pelo decreto-lei nº 4.954, que dispõe sobre a produção e a comercialização de fertilizantes destinados à agricultura (Brasil, 2004).

As medições de fluorescência da clorofila *a* têm sido difundidas pelos pesquisadores, por fornecerem informações sobre mudanças que afetam o aparato fotossintético e sua eficiência sobre diferentes condições ambientais (Gonçalves et al., 2001). Além disso, permiti analisar qualitativa e quantitativamente a absorção e o aproveitamento da energia luminosa pelo fotossistema II (FSII) e as possíveis relações com a capacidade fotossintética (Baker & Rosenqvist, 2004).

Embora já existam algumas pesquisas utilizando Si em *T. cacao*, estas foram direcionadas no sentido de verificar o efeito desse elemento sobre doenças (Silva et al., 2008) e não sobre insetos-praga. Além disso, os aspectos fisiológicos influenciados pelo Si e que condicionam reações de resistência às pragas ainda são pouco conhecidos. Este trabalho objetivou avaliar o crescimento, o teor foliar de clorofila e sua cinética de emissão de fluorescência, o teor foliar de Si, além da incidência e o nível de dano provocado por insetos-praga após aplicação de silicato de potássio em três genótipos de *T. cacao*.

## **Material e Métodos**

### **Material vegetal e condições de cultivo**

O experimento foi instalado em condições de campo, sob um sistema agroflorestal, constituído de *Bactris gasipaes* e *T. cacao*, na Estação Experimental Filogônio Peixoto (ESFIP, Linhares, ES) pertencente à Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC). As sementes de três genótipos de cacau (TSH 1188, CCN 51 e Catongo), obtidas por polinização aberta, foram coletadas na própria estação da CEPLAC. As sementes foram

pré-germinadas em água corrente e, após a protrusão da raiz primária, plantadas em sacolas de polietileno de 28x15cm contendo terra, areia e esterco de curral, na proporção 3:1:1 respectivamente, mais adubação com 700g de Superfosfato simples. Este substrato foi previamente selecionado por análises de solo com quantidades traços de silício. No decorrido experimento, as mudas permaneceram em viveiro sob irrigação diária e tratamentos culturais normais (Marques et al., 2006).

Decorrido 45 dias após o plantio, as mudas foram transplantadas para o campo no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, no arranjo fatorial 3 x 3, sendo três genótipos, duas doses de silicato de potássio ( $3 \text{ mL L}^{-1}$  e  $6 \text{ mL L}^{-1}$ ) e um controle pulverizado com água. De cada tratamento, foram realizadas quatro aplicações da solução com intervalos de 15 dias, aspergida via foliar com borrifador manual num total de 20 borrifadas por planta, que corresponderam a 11 mL de solução/planta, até o ponto de escoamento.

### **Crescimento**

A avaliação do crescimento vegetativo foi realizada antes e após a última aplicação dos tratamentos, obtendo-se assim, o incremento da área foliar, altura, número de folhas e diâmetro do caule. Avaliou-se o diâmetro do caule (mm), utilizando paquímetro de precisão, realizando duas medições num ângulo de  $90^\circ$  na base do “colete”. A medição da altura (cm) e estimativa da área foliar ( $\text{cm}^2$ ) foi utilizada a régua milimetrada, sendo que, para a altura mediu-se do coleto até a inserção do broto terminal, já para a área foliar foi medido o maior comprimento e a maior largura da folha, multiplicando-se pelo fator de correção 0,66. A contagem do número de folhas foi realizada manualmente.

### **Fluorescência da clorofila *a* e teor de clorofila**

A fluorescência da clorofila foi avaliada na primeira folha completamente madura, a partir do ápice do ramo ortotrópico, durante cinco períodos (2, 4, 6, 8 e 14 dias após última

aplicação dos tratamentos) utilizando-se fluorômetro portátil (Handy PEA, Hansatech Instruments, UK). As folhas foram inicialmente adaptadas ao escuro por 30 min usando um clipe foliar e, em seguida, submetidas a um pulso saturante de luz vermelha de cerca de 3000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  com duração de 5 segundos (pico de 650 nm). Os resultados foram tabulados com o programa PEA Plus. A partir do teste OJIP (Strasser et al., 2004), foram calculados os parâmetros de fluxo específico de energia do fotossistema II (FSII) por centro de reação: absorção (ABS/RC), captura (TRo/RC), transporte de elétron (ETo/RC) e dissipação (DIO/RC). Também foi determinado a probabilidade de um fóton absorvido mover um elétron após a quinona A<sup>-</sup> ( $\text{ETo/TRo} = \Psi_0$ ), a razão entre o número de centros de reação ativos do FSII pela quantidade de luz absorvida pelo complexo antena (RC/ABS), os rendimentos quântico potencial máximo ( $\phi_{\text{Po}} = F_v/F_m$ ) e quântico efetivo do FSII ( $\phi_{\text{Po}} / (1 - \phi_{\text{Po}}) = F_v/F_o$ ); além dos índices de desempenho ( $\text{PI}_{\text{ABS}} = \text{RC/ABS} \times [\phi_{\text{Po}} / (1 - \phi_{\text{Po}})] \times [\Psi_0 / (1 - \Psi_0)]$ ) e  $\text{PI}_{\text{TOTAL}} = \text{PI}_{\text{ABS}} \times [\delta\text{Ro} / (1 - \delta\text{Ro})]$  (Tsimilli-Michael & Strasser, 2008).

A avaliação dos teores de clorofila total foi realizada com auxílio do clorofilômetro portátil (Model CL-01 Hansatech Instruments), na mesma folha e no mesmo período que foi avaliada a fluorescência e os resultados foram expressos em índice de clorofila.

### **Incidência e nível de dano provocado por insetos-praga**

A incidência de insetos-praga foi determinada pela contagem de folhas atacadas por insetos mastigadores e pulgões (*Toxoptera aurantii* B.) antes da primeira e após última aplicação dos tratamentos, obtendo-se assim o incremento do número de folhas atacadas por parcela. Já o nível de dano foi avaliado pela área foliar lesionada ( $\text{cm}^2$ ) determinada pelo software ImageJ (Wayne Rasband National Institute of Health, USA) e por escala de notas, de acordo com a área foliar lesionada, sendo atribuída: Nota 0 - folha sem lesão; Nota 1 - 1 a 25% de área foliar lesionada; Nota 2- 26 a 50% de área foliar lesionada; Nota 3- 51 a 75% de área foliar lesionada; Nota 4- 76 a 100% de área foliar lesionada.

### **Biomassa seca e teor de silício**

Ao final do experimento, as plantas foram colhidas e divididas em raízes, caules e folhas, lavadas em água corrente, armazenadas em sacos de papel, e colocadas em estufa a 70°C até massa constante. Posteriormente, o material foi então pesado, obtendo-se assim a massa seca (g/planta). Após a obtenção da massa seca foi determinado o teor de silício na biomassa seca foliar de acordo com metodologia descrita por Korndörfer et al. (2004).

### **Análise estatística**

Após as avaliações, submeteu-se os resultados à análise de variância e comparou-se as médias pelo teste Tukey 5% de probabilidade. No caso dos parâmetros de fluorescência, as médias foram comparadas pelo teste Skott-Knott 5%, pois este teste discrimina melhor as diferenças entre as médias, permitindo assim, comparações mais adequadas das diferenças relativas em relação ao controle. Para o índice de clorofila e parâmetros de fluorescência, com base na detecção de diferenças significativas entre tratamentos e suas interações, optou-se pelos desdobramentos da interação genótipo x dose.

## **Resultados e Discussão**

### **Crescimento**

Observou-se diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) entre os genótipos para as variáveis de crescimento (Tabela 1). O maior crescimento do TSH 1188 pode estar relacionado à sua constituição genética, uma vez que este genótipo apresenta características de rápido crescimento e desenvolvimento, além de resistência a doenças e boa adaptabilidade sob diferentes condições ambientais (Pinto & Pires, 1998).

Para as doses de silicato de potássio, de modo geral, a dose 6 mL L<sup>-1</sup> de Si promoveu redução nas variáveis de crescimento, exceto para o número de folhas e as massas secas do caule e da raiz (Tabela 2). Apesar do Si influenciar positivamente no crescimento e desenvolvimento de algumas culturas, isto não foi observado nas mudas de cacau, fato este

que pode estar relacionado à influência deste elemento na resistência da planta, uma vez que seus fotoassimilados podem ter sido disponibilizados para as rotas envolvidas nos mecanismos de defesa ao invés do crescimento vegetativo (Heil & Bostock, 2002). De maneira similar, Aguilar et al. (2003), estudando o efeito de Mn e do Bion sobre as trocas gasosas e o crescimento de clones de *T. cacao* resistentes a vassoura-de-bruxa, observaram que na ausência do indutor de resistência Bion, as mudas do clone TSH 565 apresentaram maior incremento da altura e diâmetro do caule do que na presença deste indutor, sugerindo a partição de assimilados para a produção de compostos envolvidos na resistência ao invés do crescimento.

Buzi et al. (2004) também verificaram que sementes de *Cucumis melo* tratadas com acibenzolar-S-metil e ácido metil jasmônico tiveram a germinação afetada, seguida da diminuição no crescimento das plântulas. Esses efeitos foram atribuídos ao custo da transferência de processos metabólicos envolvidos no crescimento para a síntese de compostos relacionados à defesa da planta. Em contrapartida, Borges et al. (2010) demonstraram que a adubação foliar com silício proporcionou maior crescimento em plantas saudáveis de *Spilanthus oleracea*.

### **Índice de clorofila e fluorescência da clorofila *a***

A aplicação de silicato de potássio aumentou significativamente ( $P < 0,05$ ) os valores do índice de clorofila apenas para o genótipo TSH 1188, sendo que na dose  $3 \text{ mL L}^{-1}$  esse aumento foi de 37% em relação ao controle (Tabela 3). Braga et al. (2009) observaram que a suplementação do meio de cultura com Si proporcionou maior teor de clorofila em mudas de morango (*Fragaria x ananassa*). Em *Oryza sativa*, Oliveira et al. (2007) e Ávila et al. (2010) também verificaram que a aplicação de Si conferiu maior valor para a leitura do clorofilômetro SPAD, quando comparado aos tratamentos que não receberam aplicação de Si.



Em relação aos parâmetros de fluorescência, no genótipo TSH 1188 (Figura 1A), a aplicação de 3 mL L<sup>-1</sup> de silicato de potássio reduziu significativamente ( $P < 0,05$ ) a fluorescência inicial ( $F_0$ ). De acordo com Lazar (1999), a redução de  $F_0$  pode indicar um melhor aproveitamento da energia luminosa para realização das atividades fotossintéticas, pois este parâmetro expressa inversamente o potencial máximo do uso da energia de excitação no processo fotoquímico. Para o fluxo de energia nos centros de reação do FSII, esta mesma dose reduziu a absorção de energia pelos pigmentos antenas (ABS/RC) e a captura desta energia para redução da feofitina e quinona A (TRo/RC). No entanto, houve aumento do transporte de elétrons (ETo/RC) além da quinona A<sup>-</sup> para os aceptores de elétrons do intersistema e redução significativa da dissipação de energia capturada (DIo/RC). De acordo com Strasser e Strasser (1995), do total de fótons absorvidos pelo complexo antena, parte desta energia é dissipada na forma de calor e na emissão de fluorescência e outra parte é capturada para o centro de reação e, então, convertida em energia redox, mediante o transporte de elétrons, que levam à fixação de CO<sub>2</sub>. Ou seja, apesar de a baixa absorção e menor captura de energia pelo FSII, sua dissipação é baixa, indicando eficiência no aproveitamento da energia absorvida pelos centros de reação do FSII nesta dose para o TSH 1188. Na mesma dose, houve aumento da probabilidade de um elétron capturado pelo centro de reação do FSII ser transportado além da quinona A<sup>-</sup> (ETo/TRo), dos rendimentos quântico potencial máximo ( $F_v/F_m$ ) e quântico efetivo de FSII ( $F_v/F_0$ ) e da densidade de centros de reação ativos no FSII (RC/ABS).

Os índices de desempenho  $PI_{ABS}$  e  $PI_{TOTAL}$  também aumentaram na dose 3 mL L<sup>-1</sup>.  $PI_{ABS}$  e  $PI_{TOTAL}$  incorporam os processos de cascata de energia dos primeiros eventos da absorção de energia até a redução dos aceptores de elétrons do intersistema, e até a redução dos aceptores finais de elétrons de FSI, respectivamente, e fornecem informações do potencial das plantas para conservação de energia (Tsimilli-Michael & Strasser, 2008). O incremento de

$PI_{ABS}$  está relacionado ao aumento de  $RC/ABS$ ,  $Fv/Fo$  e de  $ETo/TRo$ , uma vez que este parâmetro relaciona estes três fatores em sua equação (Tsimilli-Michael et al., 2000). No entanto, o  $PI_{TOTAL}$  foi cerca de 20% menor do que  $PI_{ABS}$ . Apesar de os elevados valores de  $RC/ABS$ ,  $ETo/TRo$  e  $Fv/Fo$ , houve redução significativa ( $P < 0,05$ ) das reações de oxi-redução de FSI ( $\delta Ro/1 - \delta Ro$ ).

Feng et al., (2010) observaram em *Cucumis sativus*, que a aplicação de Si aumentou significativamente  $Fv/Fm$  e  $Fv/Fo$  em plantas com toxicidade por Cádmiio (Cd), indicando que estas plantas poderiam manter a maior atividade do centro de reação por meio da aplicação de Si. Do mesmo modo, em variedades de *Zea mays* sob toxicidade de Mn, verificou-se que a aplicação de Si reduziu o efeito tóxico do excesso de Mn aumentando o rendimento quântico potencial máximo de FSII ( $Fv/Fm$ ) e o transporte de elétrons no FSII (Doncheva et al., 2009).

Para o genótipo CCN 51 a aplicação de silicato de potássio reduziu significativamente ( $P < 0,05$ ) o valor de  $Fo$  e na dose  $6 \text{ mL L}^{-1}$  houve aumento de  $Fv/Fo$ , já para os demais parâmetros as doses de silicato de potássio não diferiram estatisticamente ( $P < 0,05$ ) em relação ao controle (Figura 1B). De maneira similar, para o genótipo Catongo não houve efeitos positivos em relação ao controle com a aplicação do silicato de potássio. Pelo contrário,  $Fv/Fm$ ,  $Fv/Fo$  e  $ETo/RC$  foram reduzidos na dose  $6 \text{ mL L}^{-1}$ , além disso, na mesma dose, houve aumento de  $DIo/RC$  pelo FSII (Figura 1C). Estes resultados podem indicar fotoinibição no Catongo, uma vez que houve redução do transporte de elétrons, de  $Fv/Fm$  e  $Fv/Fo$  e o aumento do desvio da energia luminosa absorvida em direção a dissipação na forma de calor ou fluorescência via ciclo das xantofilas, para minimizar o efeito da super excitação de FSII (Araújo & Deminicis, 2009). Além disso, a fotoinibição no Catongo também pode estar relacionado ao fato deste genótipo apresentar ausência de pigmentos antocianinas nas folhas

(Dias, 2001) que desempenham um papel fotoprotetor minimizando os efeitos da radiação elevada.

O aumento do desempenho dos parâmetros da fluorescência da clorofila *a* na dose 3 mL L<sup>-1</sup>, apenas no TSH 1188, correspondem ao incremento do índice de clorofila para este genótipo na mesma dose, uma vez que as clorofilas são pigmentos responsáveis pela absorção da energia luminosa que é utilizada no processo fotoquímico.

### **Teor de silício nas folhas**

A aplicação de silicato de potássio apresentou resultados estatisticamente semelhantes ao controle em relação ao teor foliar de Si para os genótipos TSH 1188 e CCN 51, já para o Catongo a dose 3 mL L<sup>-1</sup> aumentou em 15% os teores de Si nas folhas (Tabela 4). Mediante estes resultados, e de acordo com a classificação das plantas quanto ao acúmulo de silício, sugere-se que estes genótipos se destacam como plantas acumuladoras de Si, uma vez que, em geral, são consideradas plantas acumuladoras deste elemento aquelas que possuem teor foliar acima de 10 g kg<sup>-1</sup> de Si na matéria seca, e não acumuladoras, plantas com teor de Si menor que 5 g kg<sup>-1</sup> (Takahashi et al., 1990).

Zanão Júnior et al. (2009) ao avaliarem diferentes fontes e métodos de aplicação de Si em plantas de *Oryza sativa* no aumento da resistência à *Bipolaris oryzae*, verificaram que a aplicação de silicato de potássio via foliar não diferenciou do tratamento controle quanto à absorção de Si e não reduziu a incidência da doença. Por outro lado, Santos Botelho et al. (2005) avaliando o efeito dos silicatos de cálcio e de sódio sobre a intensidade de *Cercospora coffeicola* em mudas de *Coffea arabica* também não observaram aumento significativo no teor de Si nas folhas com os tratamentos utilizados, mas houve redução da incidência e severidade da doença. Entretanto, Buck et al. (2008) observou redução significativa na incidência de *Pyricularia oryzae* em plantas de *Oryza sativa* cultivadas em casa de vegetação. No entanto, não houve aumento nos teores foliares de Si, independente da concentração ou do

pH da solução. Estes autores ainda afirmaram que estes resultados não são conclusivos quanto à absorção de Si em *O. sativa*, uma vez que há limitações nas metodologias de análise de Si em tecidos vegetais, sendo que pequenas diferenças podem não ser detectadas. Além disso, doses aplicadas via foliar são muito baixas quando comparadas a adubação do Si via solo.

### **Incidência e nível de dano provocado por insetos-praga**

Para a porcentagem de folhas atacadas não houve diferenças intergenotípicas ( $P < 0,05$ ), no entanto o nível de dano foliar provocado por insetos-praga e a área foliar lesionada foram maiores para os genótipos TSH 1188 e CCN 51 (Tabela 5). Isso pode estar relacionado ao fato destes genótipos apresentarem crescimento vigoroso, comprovado pela maior número de folhas e área foliar (Tabela 1), o que possivelmente contribuiu para uma maior incidência de insetos, conseqüentemente aumentando os resultados do dano foliar. Além disso, este fato também pode estar relacionado à sua constituição genética, uma vez que, em condições de campo, observa-se que genótipos com certo grau de resistência a doenças apresentam maior dano provocado por algumas espécies de insetos.

A aplicação de silicato de potássio, independente do genótipo estudado, reduziu significativamente a porcentagem de folhas atacadas e o nível de dano provocado por insetos-praga, promovendo a redução de 30% para o número de folhas atacadas e de 15% para o nível de dano foliar. Já a área foliar lesionada não foi estatisticamente reduzida pela aplicação de Si (Tabela 5). Corroborando com estes resultados, Pinto e Coelho (2008), estudando o efeito de diferentes doses de silicato de potássio sobre aspectos fisiológicos da resistência a pragas em genótipos de cacau, verificaram que a aplicação de Si em condições de campo reduziu a porcentagem de folhas atacadas por insetos até a dose  $6 \text{ mL L}^{-1}$ .

A resistência conferida ao Si pode estar relacionada à formação de uma barreira estrutural, devido à associação da sílica à parede celular (Rodrigues et al., 2003). Gomes et al. (2005); Costa et al. (2007), também afirmam que a silicificação da parede celular das células

da epiderme previne a penetração e a mastigação do tecido pelos insetos, por que as células ficam mais rígidas, desse modo, o aparelho bucal desses animais é danificado, dificultando a alimentação e causando o aumento das taxas de mortalidade dos mesmos. No entanto, no presente estudo pôde-se verificar que não houve acúmulo significativo ( $P < 0,05$ ) do teor de Si nas folhas nos genótipos de *T. cacao*. Deste modo, possivelmente, a resistência conferida pela aplicação de silicato de potássio nas mudas esteja relacionada com a formação de uma camada protetora observada nas folhas, ou até mesmo pela produção de metabólitos secundários, como, por exemplo, a produção de fenóis.

Menzies et al. (1992) observaram a formação de um revestimento nas folhas, após a pulverização de silicato de potássio, sugerindo que a formação de uma "película" que reforçaria a atividade da cutícula formando uma barreira mecânica contra a penetração de patógenos ou até mesmo, neste caso a insetos. Gomes et al. (2009) estudando o efeito da adubação com Si, na incidência de insetos-praga e na produtividade da cultura de *Solanum tuberosum* em sistema orgânico, observaram que as plantas adubadas com Si, independentemente da forma de aplicação e da fonte utilizada, apresentaram menor número de injúrias foliares em relação ao controle.

### Conclusões

1. A aplicação de silicato de potássio, apesar de ter afetado negativamente o crescimento dos genótipos de *T. cacao*, promove a redução da incidência e nível de dano provocado por insetos-praga.
2. O TSH 1188 além de apresentar crescimento mais vigoroso, foi o único genótipo que apresentou maior índice de clorofila e melhoria nos parâmetros de fluorescência quando aplicado  $3 \text{ mL L}^{-1}$  de silicato de potássio, principalmente no fluxo de energia de FSII e nos índices de desempenho da planta ( $PI_{\text{ABS}}$  e  $PI_{\text{TOTAL}}$ ).

3. As doses de silicato de potássio não aumentaram teor de Si nas folhas dos genótipos de *T. cacao*, no entanto pode-se considerar que o TSH 1188, CCN 51 e Catongo são plantas acumuladoras deste elemento.

### **Agradecimentos**

Aos meus familiares e aos funcionários da ESFIP/CEPLAC pelo apoio na condução deste trabalho e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

### **Referências**

- AGUILAR, M.A.G.; RIBEIRO, M.A.Q.; PACHECO, R. G.; ALMEIDA, A.-A.F.; CHEPOTE, R.E.; MARROCOS, P.C.L.; NIELLA, G. R. ; VALLE, R.R.. Características fotossintéticas e crescimento de clones de cacau resistentes à vassoura-de-bruxa cultivados sob diferentes níveis de manganês e Bion. In: 14th INTERNATIONAL COCOA RESEARCH CONFERENCE, 2., 2003, Accra. **Acta**. Sabah: Percetakan Keningau Sdn., 2003. p.1289-1293.
- ARAÚJO, A.C.P.; NOGUEIRA, D.P.; AUGUSTO, L.G.S. Impacto dos praguicidas na saúde: estudo da cultura de tomate. **Revista Saúde Pública**, v.34, p.309-313, 2000.
- ARAÚJO, S.A.C.; DEMINICIS, B.B. Revisão: Fotoinibição da Fotossíntese. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 7, n. 4, p. 463-472, 2009.
- ÁVILA, F.W.; BALIZA, D.P.; FAQUIN, V.; ARAÚJO, J.L.; RAMOS, S.J. Interação entre silício e nitrogênio em arroz cultivado sob solução nutritiva. **Revista Ciência Agronômica**, v.41, p.184-190, 2010.
- BAKER, N.R.; ROSENQVST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v.55, p.1607-1621, 2004.

- BORGES, L.S.; GUERREO, A.C.; FERNANDES, D.M. Adubação foliar com silício no crescimento de plantas de jambu. **Cascavel**, v.3, p.160-170, 2010.
- BRAGA, F.T.; NUNES, C.F.; FAVERO, A.C.; PASQUAL, M.; CARVALHO, J. G.; CASTRO, E. M. Características anatômicas de mudas de morangueiro micropropagadas com diferentes fontes de silício. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.128-132, 2009.
- BRASIL. Decreto nº 2954. Aprova o regulamento da lei 6894 de 16 de janeiro de 1980, que dispõe sobre inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e das outras providências. **Normas Jurídicas** (Texto Integral) - DEC 4954, 14 jan., 27p. 2004.
- BUCK, G.B.; KORNDÖRFER, G.H.; NOLLA, A.; COELHO, L. Potassium Silicate as Foliar Spray and Rice Blast Control. **Journal of Plant Nutrition**. v.31, p.231-237. 2008.
- BUZI, A.; CHILOSI, G.; DE SILLO D.; MAGRO, P. Induction of resistance in melon to *Didymella bryoniae* and *Sclerotinia sclerotiorum* by seed treatments with acibenzolar-S-methyl and methyl jasmonate but not with salicylic acid. **Journal of Phytopathology**, v.152, p.34-42, 2004.
- COSTA, R.R.; MORAES, J.C.; ANTUNES, C.S. Resistência induzida em trigo ao pulgão *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (HEMIPTERA: APHIDIDAE) por silício e acibenzolar-s-methyl. **Ciência e Agrotecnologia**. v.31, p.393-397, 2007.
- DAYANANDAM, P.; KAUFMAN, P.B.; FRAKIN, C.I. Detection of silica in plants. **American Journal Botany**, v.70, p.1079-1084, 1983.
- DIAS, L.A.S. Origem e dispersão de *Theobroma cacao* L: novo cenário. In: DIAS, L.A.S. **Melhoramento genético do cacauero**. Minas Gerais: FUNAPE, 2001. p.87-88.
- DONCHEVA, S.N.; POSCHENRIEDERB, C.; STOYANOVA, Z.L.; GEORGIEVA, K.; VELICHKOVA, M.; BARCELÓ, J. Silicon amelioration of manganese toxicity in Mn-

sensitive and Mn-tolerant maize varieties. **Environmental and Experimental Botany**. v.65, p.189-197, 2009.

FENG, J.; SHI, Q.; WANG, X.; WEI, M.; YANG, F.; XU, H. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. **Scientia Horticulturae**. v.123, p.521-530. 2010.

GOMES, F.B.; MORAES, J.C.; SANTOS, C.D.; GOUSSAIN, M.M. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. **Scientia Agricola**, v.62, p.547-551, 2005.

GOMES, F.B.; MORAES, J.C.; NERI, D.K.P. Adubação com silício como fator de resistência a insetos-praga e promotor de produtividade em cultura de batata inglesa em sistema orgânico. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, p.18-23. 2009.

GONCALVES, J.F.C.; MARENCO, R.A.; VIEIRA, G. Concentration of photosynthetic pigments and chlorophyll fluorescence of mahogany and tonka bean under two light environments. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p.149-157, 2001.

HEIL, M.; BOSTOCK, M.R. Induced systemic resistance (ISR) against pathogens in the context of induced plant defences. **Annals of Botany**, v.89, p.503-512, 2002.

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

LANA, R.W.Q.; CÉSAR, E.U.R.; KORNDÖRFER, G.H.; ZANÃO JÚNIOR, L.A.; SILVA, A.F.; LANA, A.M.Q. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. **Bioscience Journal**, v.19, p.15-20, 2003.

LAZAR, D. Chlorophyll *a* fluorescence induction. **Biochimica et Biophysica Acta-Bioenergetics**, v.1412, p.1-28. 1999.

MACEDO, T. B.; BASTOS, C. S.; HIGLEY, L. G.; OSTLIE, K. R.; MADHAVAN, S. Photosynthetic responses of soybean to soybean aphid (Homoptera: Aphididae) injury. **Journal of Economic Entomology**, v.96, p.188-193, 2003.



MARQUES, S.C.; NATAL, M.A.C.; BINDA FILHO, B.; CONCEIÇÃO, L.R. **Cultivo do Cacaueiro**. CEPEC/CEPLAC: NEPLI, 2006. 48p.

MENZIES, J.; BOWEN, P.; EHRET, D.; GLASS, A.D.M. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. **Journal of American Society of Horticulture Science**. v.117, p.902-905. 1992.

OLIVEIRA, L.A.; KORNDORFER, G.H.; PEREIRA, A.C. Acumulação de silício em arroz em diferentes condições de pH da rizosfera. **Revista Brasileira de Ciência e Solo**. v.31, p.685-690, 2007.

PACHEPSKY, L.B.; ACOCK, B. A model 2DLEAF of leaf gas Exchange: development, validation, and ecological application. **Ecological Modelling**, v.93, p.1-18, 1996.

PINTO, D.G.; COELHO, R.L. Influência do silício sobre aspectos fisiológicos da indução de resistência a insetos-pragas em mudas de cacau (*Theobroma cacao* L.). 2008. 50 p. **Monografia**. Faculdade de Ciências Aplicadas “Sagrado Coração” - Faculdade Pitágoras de Linhares-ES.

PINTO, L.R.M.; PIRES, J.L. **Seleção de plantas de cacau resistentes à vassoura-de-bruxa**. Ilhéus: Ceplac/Cepec, 1998. 35p. (Boletim técnico, 181).

RODRIGUES, F.A.; BENHAMOU, N.; DATNOFF, L.E.; JONES, J.B; BÉLANGER, R.R. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. **Phytopathology**. v.93, p.535-546. 2003.

SANTOS BOTELHO, D.M.; POZZA, E.A.; POZZA, A.A.A.; CARVALHO, J.G.; 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.

SILVA, I.L.S.S.; RESENDE, M.L.V.; RIBEIRO JÚNIOR, P.M.; COSTA, J.C.B.; CAMILO, F.R.; BAPTISTA, J.C.; SALGADO, S.M.L. Efeito de nutrientes combinados com indutores

de resistência na proteção contra a vassoura-de-bruxa no cacauero. **Ciência e Agrotecnologia**. v.32, p.61-67, 2008.

SOUZA, C.A.S.; DIAS, L.A.S. Melhoramento Ambiental e Sócio-Econômica: controle de doenças e pragas. In: DIAS, L.A.S. **Melhoramento genético do cacauero**. Minas Gerais: FUNAPE, 2001. p.19-21.

STRASSER, B.J.; STRASSER, R.J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP-test. – In: MATHIS, P. (ed.): **Photosynthesis: From Light to Biosphere**, 1995, p.977-980.

STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; SRIVASTAVA, A. Analysis of the fluorescence transient. In: GEORGE, C.; PAPAGEORGIOU, C.; GOVINDJEE (Ed.). **Chlorophyll Fluorescence: A signature of photosynthesis. Advances in Photosynthesis and Respiration Series**. Springer, Dordrecht, 2004. p.321-362.

TAKAHASHI, E.; MA, J.F.; MIYAKE, Y. The possibility of silicon as essential element for higher plants. **Comments on Agricultural and Food Chemistry**. v.2, p.99-122, 1990.

TSIMILLI-MICHAEL, M., STRASSER, R. In vivo assessment of stress impact on plants vitality: applications in detecting and evaluating the beneficial role of Mycorrhization on host plants. In: VARMA, A. (Ed.). **Mycorrhiza: State of the art, genetics and molecular biology, ecofunction, biotechnology, eco-physiology, structure and systematic**. Springer, 2008. p.679-703.

TSIMILLI-MICHAEL, M.; EGGENBERG, P.; BIRO, B.; KOVES-PÉCHY, K.; VOROS, I.; STRASSER, R.J. Synergistic and antagonistic effects of arbuscular mycorrhizal fungi and *Azospirillum* and *Rhizobium* nitrogen-fixers on the photosynthetic activity of alfalfa, probed by polyphasic chlorophyll *a* fluorescence transient O-J-IP. **Applied Soil Ecology**. v.15, p.169-182, 2000.

ZANÃO JÚNIOR, L.A.; FONTES, R.L.F.; ÁVILA, V.T. Aplicação do silício para aumentar a resistência do arroz à mancha-parda. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.44, p.203-206, 2009.

## Tabelas

**Tabela 1.** Variáveis de crescimento em função de três genótipos de *T. cacao*. Valores médios da altura, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, massas secas da folha, do caule, da raiz e total.

Variáveis de Crescimento	Genótipos		
	TSH 1188	CCN 51	Catongo
Altura (cm)	41,32 A	28,44 B	28,29 B
Diâmetro do caule (mm)	5,87 A	5,26 B	4,39 C
Número de folhas	23,46 A	19,64 B	12,55 C
Área Foliar (cm <sup>2</sup> )	2082,15 A	1670,84 B	1143,08 C
Massa seca da folha (g)	9,02 A	7,24 B	5,23 C
Massa seca do caule (g)	5,54 A	4,20 B	2,88 C
Massa seca da raiz (g)	2,84 A	2,57 A	1,83 B
Massa seca total (g)	17,40 A	14,02 B	9,95 C

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ),  $n=12$ .

**Tabela 2.** Variáveis de crescimento de *T. cacao* em função do controle e das doses de silicato de potássio. Valores médios da altura, diâmetro do caule, número de folhas, área foliar, massas secas da folha, do caule, da raiz e total.

Variáveis de Crescimento	Doses de silicato de potássio		
	Controle	3 mL L <sup>-1</sup>	6 mL L <sup>-1</sup>
Altura (cm)	34,18 A	33,45 AB	30,43 B
Diâmetro do caule (mm)	5,39 A	5,13 AB	5,01 B
Número de folhas	19,12 A	18,62 A	17,92 A
Área foliar (cm <sup>2</sup> )	1770,10 A	1643,88 AB	1482,09 B
Massa seca da folha (g)	7,67 A	7,08 AB	6,73 B
Massa seca do caule (g)	4,44 A	4,20 A	3,98 A
Massa seca da raiz (g)	2,51 A	2,38 A	2,35 A
Massa seca total (g)	14,62 A	13,67 AB	13,07 B

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05), n=12.

**Tabela 3.** Índice de clorofila de três genótipos de *T. cacao* em função da aplicação de doses de silicato de potássio e o controle.

Genótipos	Doses de silicato de potássio		
	Controle	3 mL L <sup>-1</sup>	6 mL L <sup>-1</sup>
TSH 1188	7,30 C	9,95 A	8,57 B
CCN 51	7,82 A	8,49 A	7,97 A
Catongo	7,85 A	7,95 A	7,38 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05), n=20.

**Tabela 4.** Teor foliar de silício de três genótipos de *T. cacao* em função da aplicação de doses de silicato de potássio e o controle.

Genótipos	Doses de silicato de potássio		
	Controle	3 mL L <sup>-1</sup>	6 mL L <sup>-1</sup>
	-----Teor foliar de Si (g kg <sup>-1</sup> )-----		
TSH 1188	16,125 A	15,650 A	17,432 A
CCN 51	12,900 A	14,100 A	14,825 A
Catongo	16,825 AB	19,365 A	13,325 B

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05), n=4.

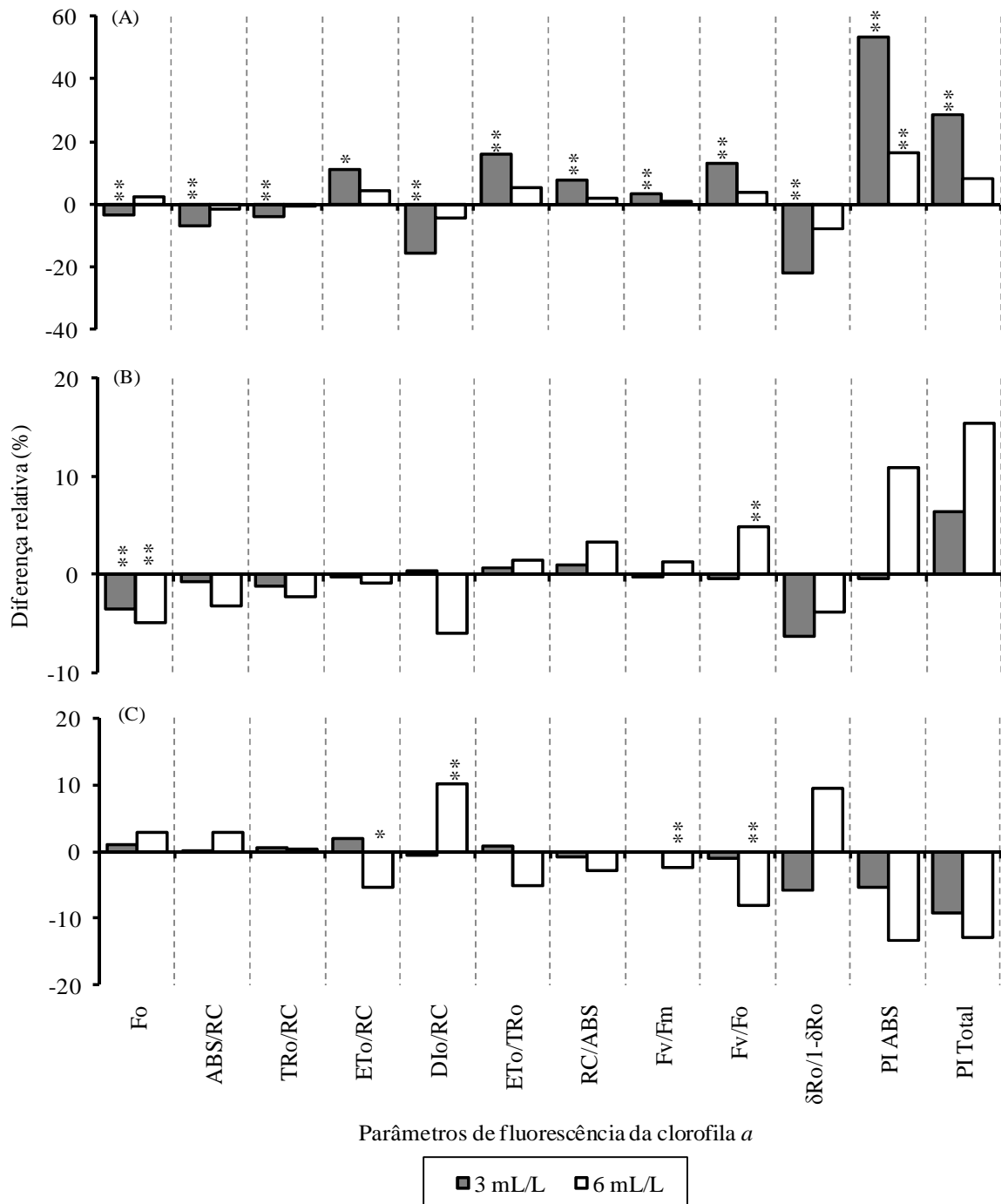
**Tabela 5.** Porcentagem de folhas atacadas por insetos, nível de dano foliar e área foliar lesionada em função de três genótipos de *T. cacao* e das doses de silicato de potássio.

Tratamentos	Porcentagem de folhas atacadas	Nível de dano foliar (Notas)	Área foliar lesionada (cm <sup>2</sup> )
Genótipos			
TSH 1188	13,92 A	1,27 A	1,22 A
CCN 51	12,73 A	1,18 AB	1,21 AB
Catongo	14,05 A	1,06 B	0,97 B
Doses de Silicato de Potássio			
Controle	16,01 A	1,29 A	1,21 A
3 mL L <sup>-1</sup>	12,91 B	1,12 B	1,15 A
6 mL L <sup>-1</sup>	11,78 B	1,10 B	1,05 A

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05), n=12.



## Figuras



**Figura 1.** Diferença relativa (%) entre as doses de silicato de potássio para o controle do genótipo TSH 1188 (A), CCN 51 (B) e Catongo (C) em função dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a*. Fo = Fluorescência inicial; ABS/RC = Absorção de luz por centro de reação; TRo/RC = Captura de energia de excitação por centro de reação; ETo/RC = Transporte de elétrons por centro de reação; DIo/RC = Dissipação de energia por centro de reação; ETo/TRo = Probabilidade de um fóton absorvido mover um elétron após a quinona A<sup>-</sup>; RC/ABS = Número de centros de reação ativos de FSII, Fv/Fm = Rendimento quântico potencial máximo de FSII; Fv/Fo = Rendimento quântico efetivo de FSII;  $\delta Ro/1-\delta Ro$  = Desempenho das reações de oxi-redução de FSI; PI<sub>ABS</sub> e PI<sub>TOTAL</sub> = Índices de desempenho por absorção e total. (\*) e (\*\*) significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste Scott-Knott, n=20.

## ARTIGO 2

**Influência do silício sobre a fotossíntese e o teor de fenóis solúveis totais envolvidos na  
resistência do cacaueteiro a pulgões (*Toxoptera aurantii* B.)**

Diego Guimarães Pinto<sup>(1)</sup>, Marco Antonio Galeas Aguiar<sup>(2)</sup>, Carlos Alberto Spaggiari Souza<sup>(2)</sup>, Diolina Moura Silva<sup>(1,4)</sup>, Paulo Roberto Siqueira<sup>(2)</sup>, Jelber Rigato Cao<sup>(3)</sup> e Leonardo Valandro Zanetti<sup>(1)</sup>.

<sup>(1)</sup> Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

<sup>(2)</sup> Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC/ESFIP).

<sup>(3)</sup> Faculdade de Ciências Aplicadas “Sagrado Coração”.

Artigo a ser submetido a revista **Journal of Plant Nutrition**, após tradução para língua inglesa.

---

Autor de correspondência: Diego Guimarães Pinto. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Av. Fernando Ferrari, n.514, Campus Universitário Alair Queiroz de Araújo, CEP 29075-910, Vitória, ES, Brasil. E-mail: diegog.pinto@gmail.com.

## RESUMO

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da aplicação de silicato de potássio sobre as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a* e o teor de fenóis solúveis totais em nível foliar, para verificar seu envolvimento na resistência do cacaueteiro a *Toxoptera aurantii*. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, no delineamento de blocos casualizados em arranjo fatorial 3x3, constituído por três genótipos (TSH 1188, CCN 51 e Catongo) e três doses de silicato de potássio (0; 3 e 6 mL L<sup>-1</sup>). Os genótipos TSH 1188 e CCN 51 apresentam maior eficiência fotoquímica e fotossíntese quando comparado ao Catongo. A aplicação de silicato de potássio não afetou o índice de desempenho das plantas (PI<sub>ABS</sub> e PI<sub>TOTAL</sub>), no entanto, na dose 3 mL L<sup>-1</sup> aumentou a fotossíntese líquida e o teor de fenóis solúveis totais. A dose 6 mL L<sup>-1</sup> reduziu a preferência de *T. aurantii* às folhas do genótipo TSH 1188. A aplicação de silicato de potássio é promissora no aumento da resistência do cacaueteiro a *T. aurantii*.

Palavras-chave: silicato de potássio, indução de resistência, *Theobroma cacao*, trocas gasosas, compostos fenólicos, fluorescência da clorofila *a*

### **Influence of silicon on photosynthesis and content soluble phenolic total involved in resistance of cocoa to aphids (*Toxoptera aurantii* B.).**

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effects of application of potassium silicate on gas exchange, chlorophyll fluorescence and content of phenolic soluble total in leaf level, to verify their involvement in the resistance of cacao to *Toxoptera aurantii*. The experiment was conducted in a greenhouse in a randomized block design in a 3 x 3 factorial arrangement, consisting of three genotypes (TSH 1188, CCN 51 and Catongo) and three doses of potassium

silicate (0, 3 and 6 mL L<sup>-1</sup>). The genotypes TSH 1188 and CCN 51 have a higher photosynthesis and photochemical efficiency when compared to Catongo. The application of potassium silicate has not affected the performance index of the plants (PI<sub>ABS</sub> e PI<sub>TOTAL</sub>), however, the dose 3 mL L<sup>-1</sup> increased net photosynthesis and content of phenols soluble total. The dose 6 mL L<sup>-1</sup> reduced the preference of *T. aurantii* to the leaves of genotype TSH 1188. The application of potassium silicate is promising to increase the resistance of cacao to *T. aurantii*.

Keywords: potassium silicate, induced resistance, *Theobroma cacao*, gas exchange, phenolic compounds, chlorophyll fluorescence *a*

## INTRODUÇÃO

Na cultura do cacau (*Theobroma cacao* L.), além da vassoura-de-bruxa (*Moniliophthora perniciosa*), uma das mais importantes e destrutivas doenças do cacauzeiro, o ataque de insetos-praga pode ser limitante para produção, uma vez que alguns deles, como os pulgões, por exemplo, podem sugar a seiva dos ramos, folhas e dos frutos novos, provocando clorose parcial ou total das folhas e de frutos em desenvolvimento (Souza & Dias, 2001; Gramacho et al., 1992).

O controle de insetos-pragas se restringe basicamente na utilização de produtos químicos, no entanto, em função das limitações existentes à utilização destes defensivos, pesquisas relacionadas à resistência de plantas têm sido uma das práticas mais eficientes dentro do manejo integrado de pragas (Goussain et al., 2002). A resistência induzida envolve a ativação do sistema de autodefesa da planta, que pode ser obtida pela aplicação de agentes elicitores bióticos, como microorganismos viáveis ou inativados ou por agentes elicitores abióticos (Stadnik, 2000).

O silício (Si) tem sido citado como um exemplo de indutor de resistência (Fawe et al., 2001), pois, além dos efeitos benéficos relatados em culturas adubadas com Si, este elemento

também esta envolvido na resistência ao ataque de insetos e doenças, principalmente em função da formação de uma barreira estrutural, proporcionada pela deposição de sílica na parede celular (Goussain et al., 2002). No entanto a barreira mecânica proporcionada pelo Si nas células não constitui o único mecanismo de defesa contra a penetração de fungos e ataque de insetos. Fawe et al. (1998) identificaram uma proteção induzida por este elemento dentro das células vegetais, demonstrando que o Si desencadeia uma seqüência de reações que iniciam mecanismos de defesa bioquímica na planta atacada. Sendo assim, plantas tratadas com Si, provavelmente, iniciam os mecanismos naturais de defesa como, por exemplo, produção de compostos fenólicos que podem interferir no crescimento e desenvolvimento de insetos-praga (Chérif; Asselin; Bélanger, 1994).

Recentemente, os estudos da cinética de emissão da fluorescência da clorofila *a* têm sido difundidos, por ser uma ferramenta rápida, fácil e não destrutiva para avaliar o desempenho fotossintético da planta sobre diversas condições de estresse, além de fornecer informações detalhadas sobre a estrutura e função do aparato fotossintético, especialmente do fotossistema II (Lazár, 2006).

Poucos são os estudos envolvendo os efeitos do Si sobre o metabolismo das plantas na resistência a insetos-praga. Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos da aplicação de silicato de potássio sobre as trocas gasosas, a fluorescência da clorofila *a* em nível foliar e o teor foliar de fenóis solúveis totais, para verificar seu envolvimento na resistência a insetos-pragas em genótipos de cacau.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Material vegetal e condições de cultivo**

O experimento foi instalado em condições de casa de vegetação na Estação Experimental Filogônio Peixoto (ESFIP), pertencente ao Centro de Pesquisas do Cacau

(CEPEC), órgão de pesquisa da Comissão Executiva do Plano da Lavoura Cacaueira (CEPLAC), localizada no município de Linhares, ES.

As sementes de cacau dos genótipos TSH 1188, CCN 51 e Catongo obtidas por polinização aberta, foram coletadas na própria estação, pré-germinadas em água corrente e, após 3 dias, quando apresentavam prostrusão da raiz primária, plantadas em sacolas de polietileno de 28x15cm em casa de vegetação com substrato contendo a mistura de terra, areia e esterco bovino, na proporção 3:1:1, mais adubação com 700g de Superfosfato simples, previamente selecionado por análises químicas e físicas de solo com quantidades traços de silício. As mudas receberam irrigação diária e tratos culturais realizados conforme sugerido por Marques et al. (2006). Aos 45 dias após o plantio das sementes, deu início a aplicação dos tratamentos, constituídos de duas doses de Si, sendo 3 e 6 mL L<sup>-1</sup>. Os tratamentos foram aplicados via foliar com borrifador manual até o ponto de escorrimento (11 mL da solução por planta), em intervalos de 15 dias, perfazendo um total de quatro aplicações. A fonte de silício utilizada foi o silicato de potássio a 10%.

### **Fotossíntese**

As medidas de trocas gasosas foliares foram realizadas, após a última aplicação dos tratamentos, com um medidor portátil de fotossíntese (LCpro, ADC Bioscientific LTD. UK) e efetuadas na primeira folha madura a partir do ápice do eixo ortotrópico em irradiância saturante de 800  $\mu\text{mol}$  de fótons  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ . Foram avaliada a taxa de fotossintética líquida (A) ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a transpiração (E) ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), a condutância estomática (gs) ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) e a concentração interna de  $\text{CO}_2$  (Ci) ( $\text{mol mol}^{-1}$ ). A partir destes dados foram calculadas as seguintes razões:  $\text{EUA}=\text{A}/\text{E}$  e  $\text{EIUA}=\text{A}/\text{gs}$ , onde EUA corresponde a eficiência instantânea do uso de água, e EIUA a eficiência intrínseca do uso de água (Zhang et al., 2001).

As medidas dos parâmetros relacionados à emissão de fluorescência da clorofila *a* foram efetuadas em folhas maduras a partir do ápice do eixo ortotrópico, utilizando-se um fluorômetro portátil (Handy PEA, Hansatech Instruments, UK). As folhas selecionadas foram adaptadas ao escuro, durante um período de 30 min, utilizando-se cliques foliares apropriados. Após a adaptação, as folhas foram expostas a um pulso de luz saturante com duração de 5 segundos de cerca de  $3000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  (pico de 650 nm). Os resultados da cinética da fluorescência transiente foram tabulados com o programa PEA Plus para uma planilha eletrônica. A partir do teste OJIP (Strasser, Tsimilli-Michael e Srivastava, 2004), foram determinados a densidade de centros de reação ativos do FSII (RC/ABS); o rendimento quântico efetivo máximo de FSII ( $\phi\text{Po} / 1 - \phi\text{Po} = F_v/F_o$ ); eficiência das reações de oxirredução além de quinona A reduzida ( $\Psi_o/1 - \Psi_o = (F_M - F_J)/(F_J - F_o)$ ); a eficiência com que um elétron pode mover-se do acceptor de elétron reduzido do intersistema para o acceptor final de FSI ( $\delta\text{Ro}/1 - \delta\text{Ro}$ ), além dos índices de desempenho da planta ( $\text{PI}_{\text{ABS}} = \text{RC/ABS} \times [\phi\text{Po} / (1 - \phi\text{Po})] \times [\Psi_o / (1 - \Psi_o)]$ ) e  $\text{PI}_{\text{TOTAL}} = \text{PI}_{\text{ABS}} \times [\delta\text{Ro} / (1 - \delta\text{Ro})]$  (Tsimilli-Michael & Strasser, 2008).

Os índices  $\text{PI}_{\text{ABS}}$  e  $\text{PI}_{\text{TOTAL}}$  incorporam os processos de cascata de energia dos primeiros eventos da absorção de energia pelo complexo antena de FSII até a redução de dos aceptores de elétrons do intersistema, e dos aceptores finais de elétrons do fotossistema I (FSI), respectivamente; e fornecem informações sobre a “vitalidade” das plantas, que combina noções da atividade, estabilidade, sensibilidade e resistência a estresses (Christen et al., 2007).

#### **Determinação da concentração de fenóis solúveis totais**

Após a última aplicação dos tratamentos, folhas novas sadias e atacadas por pulgões foram coletadas das plantas, transportadas em isopor com gelo, e armazenadas em freezer a  $-20^\circ\text{C}$  até proceder à determinação do teor de fenóis solúveis totais, conforme metodologia descrita por Aguilar (1999).

### **Teste de preferência com chance de livre escolha**

Realizou-se o teste de preferência com chance de livre escolha com pulgões (*Toxoptera aurantii* B.) (Costa et al., 2007). Após a última aplicação dos tratamentos, folhas jovens, com aproximadamente 4 cm de comprimento, foram retiradas de cada tratamento e colocadas em placas de Petri (14,5 cm), de forma equidistantes, e em seguida, 40 pulgões adultos foram liberados no centro da placa. Após a liberação dos insetos, as placas foram fechadas com filme plástico perfurado com alfinete e mantidas em temperatura ambiente e fotoperíodo de 12h. Posteriormente, contou-se o número de pulgões adultos e ninfas presentes em cada folha, 32 h após a liberação dos afídeos.

### **Delineamento experimental e análise estatística**

O experimento foi conduzido em condições de casa de vegetação no delineamento experimental de blocos casualizados, com quatro repetições, no arranjo fatorial 3 x 3, sendo três genótipos de cacau, duas doses de silicato de potássio (3 mL L<sup>-1</sup> e 6 mL L<sup>-1</sup>) e um controle pulverizado com água. O teste de preferência foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado com 4 repetições no laboratório da própria estação experimental da CEPLAC em duplicata, e os dados foram normalizados pela transformação  $\sqrt{x}$ . Os resultados foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste Tukey 5%.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Trocas gasosas foliares**

Observou-se diferenças intergenotípicas em relação às trocas gasosas (Tabela 1). As maiores taxas fotossintéticas (A) e condutância estomática (gs) foram encontradas nos genótipos TSH 1188 e CCN 51, já a eficiência do uso da água (EUA), variável que relaciona a taxa de carbono fixada por unidade de água perdida no processo transpiratório, foi maior no genótipo CCN 51, mostrando que houve maior assimilação de carbono por mol de água transpirada neste genótipo.



As maiores taxas fotossintéticas e condutância estomática encontradas nos genótipos CCN 51 e TSH 1188, possibilitam uma maior disponibilidade de fotoassimilados para o crescimento e também para as rotas metabólicas de defesa, uma vez que estes genótipos apresentam crescimento mais vigoroso e resistência genética a doenças, quando comparado ao Catongo (Pinto & Pires, 1998; Pires, 2003).

A abertura estomática está diretamente ligada às taxas fotossintéticas e a transpiração, pois, ao mesmo tempo em que a planta absorve CO<sub>2</sub> para a fotossíntese, ela perde água. Almeida et al. (2001), observaram que plantas de Catongo inoculadas com *C. pernicioso* apresentaram menores taxas fotossintéticas. Além disso, a redução da assimilação de CO<sub>2</sub> do Catongo pode estar relacionada com a menor abertura estomática ou em função da menor concentração de clorofila (Dias, 2001).

Em relação à aplicação de silicato de potássio (Tabela 2), a dose 3 mL L<sup>-1</sup> proporcionou um aumento na taxa de fotossíntese líquida de 44% em relação ao controle, seguido da dose 6 mL L<sup>-1</sup> com 14%. No entanto, a condutância estomática (gs), a transpiração (E), a concentração de carbono interno no mesofilo foliar (Ci) e as eficiências do uso da água (EUA e EIUA) não diferenciaram (P<0,05) estatisticamente do tratamento controle.

Lana et al. (2003), citam que, dentre os efeitos benéficos da aplicação de Si podemos destacar o aumento na capacidade fotossintética, a obtenção de plantas mais eretas, além da redução da transpiração. Do mesmo modo, Takahashi (1995) afirma que a melhor arquitetura foliar, proporcionada pelo Si permite maior penetração de luz solar, maior absorção de CO<sub>2</sub> e diminuição da transpiração excessiva, o que permite o incremento das taxas fotossintéticas. Além disso, Gong et al. (2005) relataram que em plantas adubadas com Si houve aumento da atividade fotossintética, associada ao aumento da atividade da Rubisco e da desidrogenase gliceraldeído-3-fosfato dependente de NADPH+H<sup>+</sup>, como também dos teores de clorofila a, b, total e carotenóides.

Em cultivares de *Sacharum spp.*, Madeiros et al. (2009) não observaram diferenças significativas em gs e EUA, sendo que a aplicação de Si afetou significativamente somente E. Em contrapartida, Shen et al. (2010) verificaram que a aplicação de Si em plântulas de *Glycine max* sob a combinação de estresses como seca e radiação UV-B, teve efeito benéfico sobre a fotossíntese, o crescimento e a atividade de enzimas antioxidantes. Além disso, Romero-Aranda et al. (2006), constataram que A foi 20% maior em plantas de *Lycopersicon esculentum* sob estresse salino tratadas com Si, do que em plantas salinizadas não tratadas com esse elemento.

### **Fluorescência da clorofila a**

Os genótipos TSH 1188 e CCN 51, quando comparado ao Catongo, apresentaram alta densidade de centros de reação ativos de FSII (RC/ABS), maior rendimento quântico máximo efetivo de FSII ( $\phi P_o/1-\phi P_o$ ) e eficiência das reações de oxi-redução além de quinona A reduzida ( $\Psi_o/1-\Psi_o$ ), o que contribuiu para o aumento do índice de desempenho fotossintético por energia absorvida ( $PI_{ABS}$ ) (Figura 1). Os valores de  $PI_{TOTAL}$  também foram maiores nestes genótipos, o que sugere que o TSH 1188 e CCN 51 apresentaram uma melhor eficiência do aparato fotossintético em relação ao Catongo, fato também observado pelos resultados obtidos para A e gs (Tabela 1).

De acordo com Thach et al. (2007), reduções significativas nos valores dos rendimentos quântico potencial máximo de FSII ( $\phi P_o = F_v/F_m$ ), bem como nos valores do índice de desempenho ( $PI_{ABS}$  e  $PI_{TOTAL}$ ), indicam efeito de fotoinibição. Tais mudanças podem representar perda de eficiência fotoquímica pelas plantas, e como consequência a diminuição da fotossíntese. Além disso, o maior desempenho das reações de oxi-redução de FSI ( $\delta R_o/1-\delta R_o$ ) no Catongo, pode ser explicada pelo fato de FSI ser mais tolerante ao excesso de radiação do que o FSII (Havaux & Davaud, 1994), o que permite a este genótipo utilizar a pequena quantidade de energia absorvida para redução da ferredoxina e do  $NADP^+$ .

Por outro lado, a fotoinibição nesse genótipo também pode estar relacionada à ausência de antocianinas nas suas folhas (Dias, 2001), que conferem efeito fotoprotetor ao aparato fotossintético (Close & Beadle, 2003).

Em relação às doses de silicato de potássio, com exceção do aumento de  $PI_{ABS}$  na dose  $6 \text{ mL L}^{-1}$ , não houve diferenças significativas ( $P < 0,05$ ) em relação ao controle para os parâmetros de fluorescência da clorofila (Tabela 3). Tal comportamento inesperado poderia estar relacionado ao ambiente em que o experimento foi instalado, ou seja, sem a presença de algum estresse, uma vez que em condições de campo, Pinto et al. (2010) com os mesmos tratamentos, verificaram que a aplicação de  $3 \text{ mL L}^{-1}$  de silicato de potássio no genótipo TSH 1188 promoveu aumentos de  $RC/ABS$ ,  $F_v/F_o$  ( $=\phi P_o/(1-\phi P_o)$ ),  $\psi_0$  ( $=E_{T_o}/T_{R_o}$ ) e de  $PI_{ABS}$ .

Silva e Bohnen (2001), comparando a produção de matéria seca de raízes e da parte aérea e o rendimento de grãos de plantas de *Oryza sativa* cultivadas em solução nutritiva, não observaram diferenças significativas entre a adição ou não de Si. Este fato foi relacionado com as condições em que o experimento foi conduzido, ou seja, na ausência de algum estresse de ordem nutricional ou ambiental, o qual poderia ser amenizado pela presença do Si e provocar diferenças entre os tratamentos.

Al-Aghabary et al. (2004) relataram que a aplicação de Si em solução nutritiva pode compensar parcialmente os impactos negativos do estresse com NaCl, aumentando a tolerância das plantas de *Solanum lycopersicum* a salinidade, em função do aumento da atividade de enzimas oxidativas, do teor de clorofila e da eficiência fotoquímica de FSII. Além disso, Feng et al. (2010), estudando os efeitos de Si sobre o crescimento, a fotossíntese, os parâmetros de fluorescência clorofila *a* e o metabolismo do nitrogênio em plantas de *Cucumis sativus*, observaram que o Si tem um papel importante na proteção da maquinaria fotossintética em plantas com toxicidade por Cd, uma vez que a sua aplicação aumentou  $F_v/F_m$  e  $F_v/F_o$ .

### **Concentrações de fenóis solúveis totais**

As folhas novas sadias apresentaram maior concentração de compostos fenólicos do que as atacadas por pulgão (Figura 2). Essa redução dos teores de fenóis solúveis totais nas folhas novas atacadas pode ser justificada pela conversão destes compostos em quinonas, que são freqüentemente mais tóxicos aos insetos do que o fenol original (Campos et al. 2004). De acordo com Felton et al. (1994) e Mohammadi e Kazemi (2002), as enzimas polifenoloxidasas e peroxidases são responsáveis pela oxidação dos compostos fenólicos à quinonas na presença do oxigênio, diminuindo a qualidade nutricional do alimento e dificultando a digestão protéica dos insetos, as quais conferem às plantas maior capacidade de defesa ao agente agressor.

Gomes et al. (2004) após verificarem o aumento da atividade das peroxidase e polifenoloxidase com o ataque de *Schizaphis graminum* em plantas de *Triticum aestivum*, afirmaram que a herbivoria pode desencadear respostas de defesa nas plantas, como o aumento na atividade de enzimas oxidativas, sendo o aumento da atividade dessas enzimas uma indicação da síntese de compostos de defesa da planta a agentes externos.

Não houve efeito significativo ( $P < 0,05$ ) da aplicação de silicato de potássio no teor de fenóis solúveis totais em folhas novas do genótipo TSH 1188 atacadas por pulgão (Figura 4A). Em contrapartida, a aplicação de 3 mL L<sup>-1</sup> de silicato de potássio aumentou cerca de 100% o teor de fenóis no genótipo CCN 51 (Figura 4B) e, aproximadamente 117%, no Catongo (Figura 4C), sugerindo o aumento da síntese de metabólitos secundários de defesa, como de compostos fenólicos, nos locais de ataque provocado por pulgões nestes genótipos.

A semelhança estatística do TSH 1188 com relação ao controle do mesmo genótipo em folhas atacadas por pulgões, possivelmente pode estar relacionada aos mecanismos constitutivos de defesa deste genótipo, por se tratar de um genótipo que naturalmente apresenta elevados níveis constitutivos (pré-existent) de fenóis em seus tecidos, o que lhe confere um bom nível de resistência genética (Nojosa et al., 2003).

Gomes et al. (2005) sugeriram que o Si, pode agir como elicitador do processo de indução de resistência, aumentando a atividade de enzimas relacionadas à defesa de plantas de *Triticum aestivum* contra *Schizaphis graminum*, como por exemplo, as peroxidases e polifenoloxidasas e a enzima fenilalanina amônia-liase que está relacionada à síntese de compostos fenólicos que apresentam propriedades repelentes, tóxicas e antinutricionais aos insetos. Em *Solanum tuberosum*, Gomes et al. (2008) também verificaram que o Si atuou como indutor de resistência a *M. persicae*, devido aumento dos teores de lignina e taninos e da atividade de peroxidases, mas a adubação silicatada não afetou a atividade fenilalanina amônia-liase.

Bélangier, Benhamou e Menzies (2003), em observações usando microscópio ótico e eletrônico, verificaram que a aplicação de Si tem um papel ativo na resistência de plantas de *Triticum aestivum* infectadas por *Blumeria. graminis* f.sp. *tritici*, principalmente em função do acúmulo de compostos fenólicos em paredes de células epidérmicas. Rodrigues et al. (2003) também verificaram em nível ultraestrutural e citoquímico, que o aumento da resistência de *Oryza sativa* à *Magnaporthe grisea* mediada pela aplicação de Si, foi devido ao acúmulo de compostos fenólicos nas células.

#### **Teste de preferência com chance de livre escolha**

A preferência de *T. aurantii* foi reduzida com aplicação de 6 mL L<sup>-1</sup> silicato de potássio apenas para o genótipo TSH 1188 (Tabela 4). A não preferência de *T. aurantii* as folhas deste genótipo pode estar relacionado aos altos níveis constitutivos de compostos fenólicos encontrados nas suas folhas (Nojosa et al., 2003) ou devido à formação da camada protetora na cutícula foliar conferida pela aplicação de silicato potássio (Menzies et al., 1992).

Moraes et al. (2005) verificaram que plantas de *Zea mays* adubadas com silicato de sódio foram menos preferidas por *Rhopalosiphum maidis*. Do mesmo modo, em *Triticum aestivum*, Costa, Moraes e Antunes (2007) observaram a não preferência de *Schizaphis*

*graminum* nas seções foliares de plantas tratadas com acibenzolar-S-methyl e Si. Em contrapartida, Gomes et al. (2008) observaram que a adubação silicatada não afetou a preferência de *Myzus persicae* em plantas de *Solanum tuberosum*, resultados semelhantes aos encontrados por Alcantra, Moraes e Antonio (2010), na preferência do *Aphis gossypii* a *Gossypium hirsutum*.

### CONCLUSÕES

Os genótipos TSH 1188 e CCN 51 apresentaram maior rendimento do fotossistema II quando comparado ao Catongo, o que contribuiu para o incremento das taxas fotossintéticas, permitindo a estes genótipos boa adaptabilidade aos fatores ambientais.

A aplicação de silicato de potássio em casa de vegetação não afetou os parâmetros de fluorescência da clorofila, mas é promissora na proteção dos genótipos de cacau a *T. aurantii*, uma vez que promove o incremento dos níveis foliares de fenóis solúveis totais e aumento das taxas fotossintéticas na dose 3 mL L<sup>-1</sup>.

### AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES) pela concessão da bolsa de estudo.

### REFERÊNCIAS

- Aguilar, M. A. G. Influência do manganês sobre os aspectos bioquímicos e fisiológicos da tolerância de Cacau (*Theobroma cacao* L) à vassoura-de-bruxa - *Crinipellis pernicios* (Stahel) (Singer). 1999. *Tese de Doutorado*. 199p. Universidade Federal de Viçosa, MG.
- Al-Aghabary, K., Zhu, Z. and Shi, Q. 2004. Influence of silicon supply on chlorophyll content, chlorophyll fluorescence, and antioxidative enzyme activities in tomato plants under salt stress. *Journal Plant Nutrition* 12:2101-2115.

- Alcantra, E., Moraes, J. C. e Antonio, A. 2010. Efeito de indutores da resistência e cultivares de algodão no comportamento de *Aphis gossypii*. *Revista Ciência Agronômica* 41:619-624.
- Almeida, A.-A.F. de, Santos, I.C.F. and Valle, R.R. 2001. Chlorophyll fluorescence emission and gas exchange rates in two cacao genotypes infected with witches' broom. *Agrotrópica* 13:1-8.
- Bélangier, R.R., Benhamou, N. and Menzies, J.G. 2003. Cytological evidence of an active role of silicon in wheat resistance to powdery mildew (*Blumeria graminis* f.sp. *tritici*). *Phytopathology* 93:402-412.
- Campos, Â.D., Ferreira, A.G., Hampe, M.M.V., Antunes, I.F., Brancão, N., Silveira, E.P., Osório, V.A. e Augustin, E. 2004. Peroxidase and polyphenol oxidase activity in bean anthracnose resistance. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39:637-643.
- Chérif, M., Asselin, A. and Bélangier, R.R. 1994. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. *Phytopathology* 84:236-242.
- Close, D.C. and Beadle, C.L. 2003. The ecophysiology of foliar anthocyanin. *Botanical Review* 69:149–161.
- Costa, R. R., Moraes, J. C. e Antunes, C. S. 2007. Resistência induzida em trigo ao pulgão *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) por silício e acibenzolar-S-methyl. *Ciência e Agrotecnologia* 31:393-397.
- Christen, D., Schönmann, S., Jermini, M., Strasser, R.J. and Défago, G. 2007. Characterization and early detection of grapevine (*Vitis vinifera*) stress responses to esca disease by in situ chlorophyll fluorescence and comparison with drought stress. *Environmental Experimental Botany* 60:504-514.
- Dias, L.A.S. Origem e dispersão de *Theobroma cacao* L: novo cenário. 2001. In: *Melhoramento genético do cacaueteiro*, ed. Dias, L.A.S. pp.87-88. Minas Gerais: FUNAPE.

- Fawe, A., Abou-Zaid, M., Menzies, J.G. and Bélanger, R.R. 1998. Silicon-mediated accumulation of flavonoid phytoalexins in cucumber. *Phytopathology* 88:396-401.
- Fawe, A., Menzies, J.G., Chérif, M. and Bélanger, R.R. 2001. Silicon and disease resistance in dicotyledons. In: *Silicon in agriculture*. eds. Datnoff, L.E., Snyder, G.H., Korndörfer, G.H. pp. 159-166. The Netherlands: Elsevier Science.
- Felton, G.W.; Summers, C.B.; Mueller, A.J. 1994. Oxidative responses in soybean foliage to herbivory by bean leaf beetle and three-cornered alfalfa hopper. *Journal Chemical Ecology* 20:639-650.
- Feng, J., Shi, Q., Wanga, X., Wei, M., Yang, F., Xu, H. 2010. Silicon supplementation ameliorated the inhibition of photosynthesis and nitrate metabolism by cadmium (Cd) toxicity in *Cucumis sativus* L. *Scientia Horticulturae* 123:521-530.
- Gong, H., Zhu, X., Chen, K., Wang, S. and Zhang, C. 2005. Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science* 169:313-321.
- Gomes, F. B., Moraes, J. C., Santos, C. D. and Goussain, M. M. 2005. Resistance induction in wheat plants by silicon and aphids. *Scientia Agricola* 62:547-551.
- Gomes, F.B., Moraes, J.C., Santos, C.D. e Antunes, C. S. 2008. Uso de Silício como Indutor de Resistência em Batata a *Myzus persicae* (Sulzer) (Hemiptera: Aphididae). *Neotropical Entomology* 37:185-190.
- Gomes, F.B., Santos, C. D., Moraes, J. C. e Goussain, M. M.. 2004. Efeito da densidade populacional do pulgão-verde *Schizaphis graminum* (Rondani, 1852) (Hemiptera: Aphididae) na atividade enzimática em plantas de trigo. *Ciência e Agrotecnologia* 28:1437-1440.
- Goussain, M.M., Moraes, J.C., Carvalho, J.G., Nogueira, N.L. e Rossi, M.L. 2002. 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* 31:305-310.



- Gramacho, I.C.P., Magno, A.E.S., Mandarino, E.P. e Matos, A. 1992. *Cultivo e beneficiamento do cacau*. pp.66-73. 124p. CEPLAC – Ministério da Agricultura e Reforma Agrária.
- Havaux, M. and Davaud, A. 1994. Photoinhibition of photosynthesis in chilled potato leaves is not correlated with a loss of photosystem II activity. Preferential inactivation of photosystem I. *Photosynthetic Research* 40:75-92.
- Lana, R.M.Q., Korndörfer, G.H., Zanão Junior, L.A., Silva, A. F da. e Lana, A.M.Q. 2003. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro. *Bioscience Journal* 19:15-20.
- Lazár, D. 2006. The polyphasic chlorophyll *a* fluorescence rise measured under high intensity of exciting light. *Functional Plant Biology* 33:9-30.
- Madeiros, L.B., Vieira, A.O. e Aquino, B.F. 2009. Influência da escória siderúrgica sobre trocas gasosas e produção de biomassa da cana-de-açúcar. *Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia* 6:121-129.
- Marques, S.C., Natal, M.A.C., Binda Filho, B. e Conceição, L.R. 2006. *Cultivo do Cacaueiro*. CEPEC/CEPLAC: NEPLI, 48p.
- Menzies, J., Bowen, P., Ehret, D., Glass, A.D.M. 1992. Foliar applications of potassium silicate reduce severity of powdery mildew on cucumber, muskmelon, and zucchini squash. *Journal American Society Horticulture Science* 117:902-905.
- Moraes, J. C., Goussain, M. M., Carvalho, G. A. and Costa, R. R. 2005. Feeding non-preference of the corn leaf aphid *Rhopalosiphum maidis* (Fitch, 1856) (Hemiptera: Aphididae) to corn plants (*Zea mays* L.) treated with silicon. *Ciência e Agrotecnologia* 29:761-766.
- Mohammadi, M. and Kazemi, H. 2002. Changes in peroxidase and polyphenol oxidase activities in susceptible and resistant wheat heads inoculated with *Fusarium graminearum* and induced resistance. *Plant Science* 162:491-498.

- Nojosa, G.B.A., Resende, M.L.V., Aguilar, M.A.G., Bezerra, K.M.T. e Anhert, D.E. 2003. Componentes fenólicos e enzimas oxidativas em clones de *Theobroma cacao* resistentes e suscetíveis a *Crinipellis pernicioso*. *Fitopatologia Brasileira* 28:148-154.
- Pinto, D.G., Aguilar, M.A.G., Souza, C.A.S., Silva, D.M., Contarato, E. e Siqueira, P.R.. 2010. Fluorescência da clorofila *a* e incidência de insetos-praga em genótipos de cacau pulverizados com silício. In: *Trabalhos Publicados na FERTIBIO*, Guarapari, ES., CD ROM.
- Pinto, L.R.M e Pires, J.L. 1998. *Seleção de Plantas de Cacau Resistentes à Vassoura-de-bruxa*. Ilhéus. CEPLAC/CEPEC.
- Pires, J.L. 2003. Avaliação quantitativa e molecular de germoplasma para o melhoramento do cacau com ênfase na produtividade, qualidade de frutos e resistência a doenças. *Tese de Doutorado* 226p. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- Rodrigues, F.Á., Benhamou, N., Datnoff, L.E., Jones, J.B. and Bélanger, R.R. 2003. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. *Phytopathology* 93:535-546.
- Romero-Aranda, M.R., Jurado, O. and Cuartero, J. 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal Plant Physiology* 163:847–855.
- Silva, L.S. e Bohnen, H. 2001. Rendimento e acúmulo de nutrientes pelo arroz em solução nutritiva com e sem adição de silício. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 25:771-777.
- Shen, X., Zhou, Y., Duan, L., Li, Z., Eneji, A.E. and Li, J. 2010. Silicon effects on photosynthesis and antioxidant parameters of soybean seedlings under drought and ultraviolet-B radiation. *Journal Plant Physiology* 167:1248–1252.
- Souza, C.A.S. and Dias, L.A.S. 2001. Melhoramento Ambiental e Sócio-Economia: controle de doenças e pragas. In: *Melhoramento genético do cacau*, eds. Dias, L.A.S., pp.19-21. Minas Gerais: FUNAPE.

- Stadnik, M. 2000. Indução de resistência a oídios. In: *Congresso paulista de fitopatologia*, pp. 176-181, v.23: Campinas. Anais do Congresso Paulista de Fitopatologia. Campinas: GPF.
- Strasser, R.J., Tsimilli-Michael, M., Srivastava, A. 2004. Analysis of the fluorescence transient. In: *Chlorophyll Fluorescence: A signature of photosynthesis*, eds. George, C.; Papageorgiou, C., Govindjee. pp. 321-362. Advances in Photosynthesis and Respiration Series. Springer, Dordrecht.
- Takahashi, E. 1995. Uptake mode and physiological functions of silica. In: *Science of the rice plant: physiology*, eds. Matsuo, T., Kumazawa, K., Ishii, R.; et al. pp.420-433. Tokyo: Food and Agriculture Policy Research Center.
- Thach, L.B., Shapcott, A., Schmidt, S. and Critchley, C. 2007. The OJIP fast fluorescence rise characterizes *Graptophyllum* species and their stress responses. *Photosynthesis Research* 94:423-436.
- Tsimilli-Michael, M. and Strasser, R. 2008. In vivo assessment of stress impact on plants vitality: applications in detecting and evaluating the beneficial role of Mycorrhization on host plants. In: *Mycorrhiza: State of the art, genetics and molecular biology, ecofunction, biotechnology, eco-physiology, structure and systematic*, eds. Varma, A. pp.679-703. Springer.
- Zhang, S., Li, Q., Ma, K. and Chen, L. 2001. Temperature dependent gas exchange and stomatal/non-stomatal limitation to CO<sub>2</sub> assimilation of *Quercus liaotungensis* under midday higher irradiance. *Photosynthetica* 39:383-388.

## TABELAS E FIGURAS

**Tabela 1.** Variáveis de trocas gasosas foliares de três genótipos de *T. cacao*.

Genótipos	A	gs	E	Ci	EUA	EIUA
TSH 1188	3,79 AB	0,034 AB	0,62 A	152,25 A	6,18 B	118,34 A
CCN 51	4,61 A	0,037 A	0,66 A	154,92 A	7,05 A	130,68 A
Catongo	3,12 B	0,026 B	0,52 A	170,29 A	5,82 B	115,76 A

A, fotossíntese líquida ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); gs, condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); E, transpiração ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); Ci, concentração interna de  $\text{CO}_2$  no mesofilo foliar ( $\text{mol mol}^{-1}$ ), EUA, eficiência instantânea do uso de água ( $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mmol H}_2\text{O}$ ), EIUA, eficiência intrínseca do uso de água ( $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O}$ ). Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ),  $n=12$ .

**Tabela 2.** Variáveis de trocas gasosas foliares de *T. cacao* em função de duas doses de silicato de potássio e o controle.

Doses de silicato de potássio	A	gs	E	Ci	EUA	EIUA
Controle	3,21 B	0,028 A	0,52 A	151,10 A	6,16 A	119,35 A
3,0 mL L <sup>-1</sup>	4,62 A	0,036 A	0,67 A	150,44 A	6,50 A	125,58 A
6,0 mL L <sup>-1</sup>	3,69 AB	0,033 A	0,61 A	175,93 A	6,38 A	119,86 A

A, fotossíntese líquida ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); gs, condutância estomática ( $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); E, transpiração ( $\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ); Ci, concentração interna de  $\text{CO}_2$  no mesofilo foliar ( $\text{mol mol}^{-1}$ ), EUA, eficiência instantânea do uso de água ( $\mu\text{mol CO}_2/\text{mmol H}_2\text{O}$ ), EIUA, eficiência intrínseca do uso de água ( $\mu\text{mol CO}_2 / \text{mol H}_2\text{O}$ ). Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ),  $n=12$ .

**Tabela 3.** Parâmetros da cinética de emissão da fluorescência da clorofila *a* de *T.cacao* em função de duas doses de silicato de potássio e o controle.

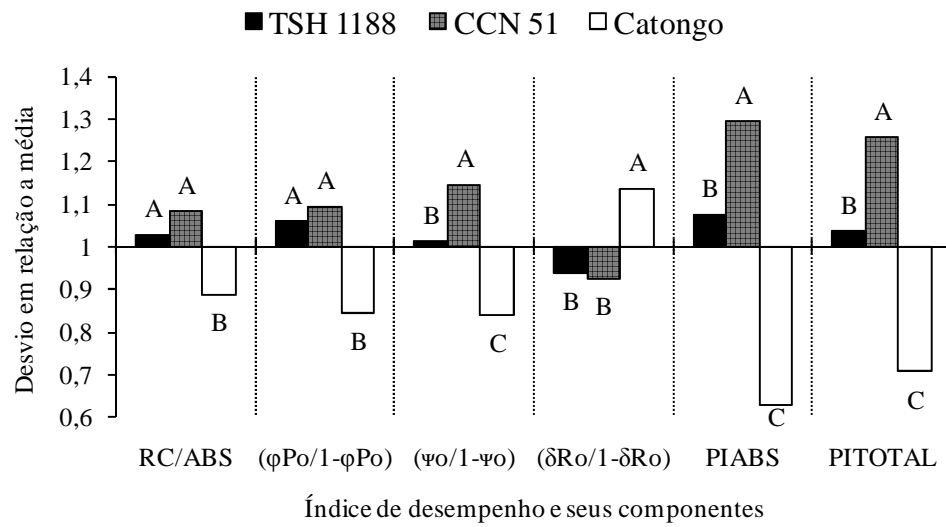
Doses de silicato de potássio	Parâmetros de fluorescência					
	RC/ABS	$(\phi P_o/1-\phi P_o)$	$(\psi_o/1-\psi_o)$	$(\delta R_o/1-\delta R_o)$	PI <sub>ABS</sub>	PI <sub>TOTAL</sub>
Controle	0,36 A	2,80 A	0,75 A	0,78 A	0,80 AB	0,62 A
3 mL L <sup>-1</sup>	0,35 A	2,79 A	0,71 A	0,87 A	0,76 B	0,60 A
6 mL L <sup>-1</sup>	0,37 A	2,93 A	0,80 A	0,78 A	0,92 A	0,69 A

RC/ABS = densidade de centros de reação ativos de FSII;  $\phi P_o/(1-\phi P_o)$  = rendimento quântico máximo de FSII;  $\psi_o/(1-\psi_o)$  = eficiência das reações de oxi-redução além de quinona A reduzida;  $\delta R_o/(1-\delta R_o)$  = eficiência com que um elétron pode mover-se do acceptor de elétron reduzido do intersistema para o acceptor final de FSI; PI<sub>ABS</sub> e PI<sub>TOTAL</sub> = Índices de desempenho fotossintético. Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ),  $n=12$ .

**Tabela 4.** Número médio de *T. auranti* em folhas novas de genótipos de *T.cacao* em função da aplicação de duas doses de silicato de potássio e o controle, 32 h após a liberação dos afídeos no centro da placa de Petri.

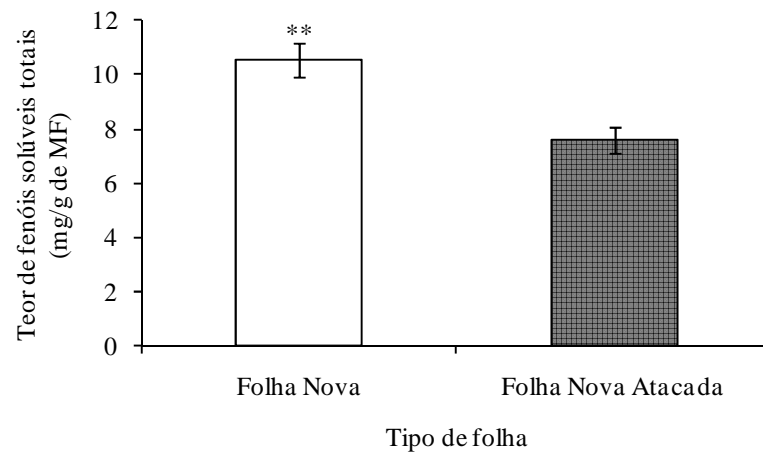
Genótipos	Número de Pulgões		
	Controle	3 mL L <sup>-1</sup>	6 mL L <sup>-1</sup>
TSH 1188	2,31 A	1,50 AB	1,05 B
CCN 51	1,29 A	2,01 A	1,73 A
Catongo	1,69 A	1,29 A	1,71 A

Médias seguidas de mesma letra nas linhas não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey (P<0,05), n=4.

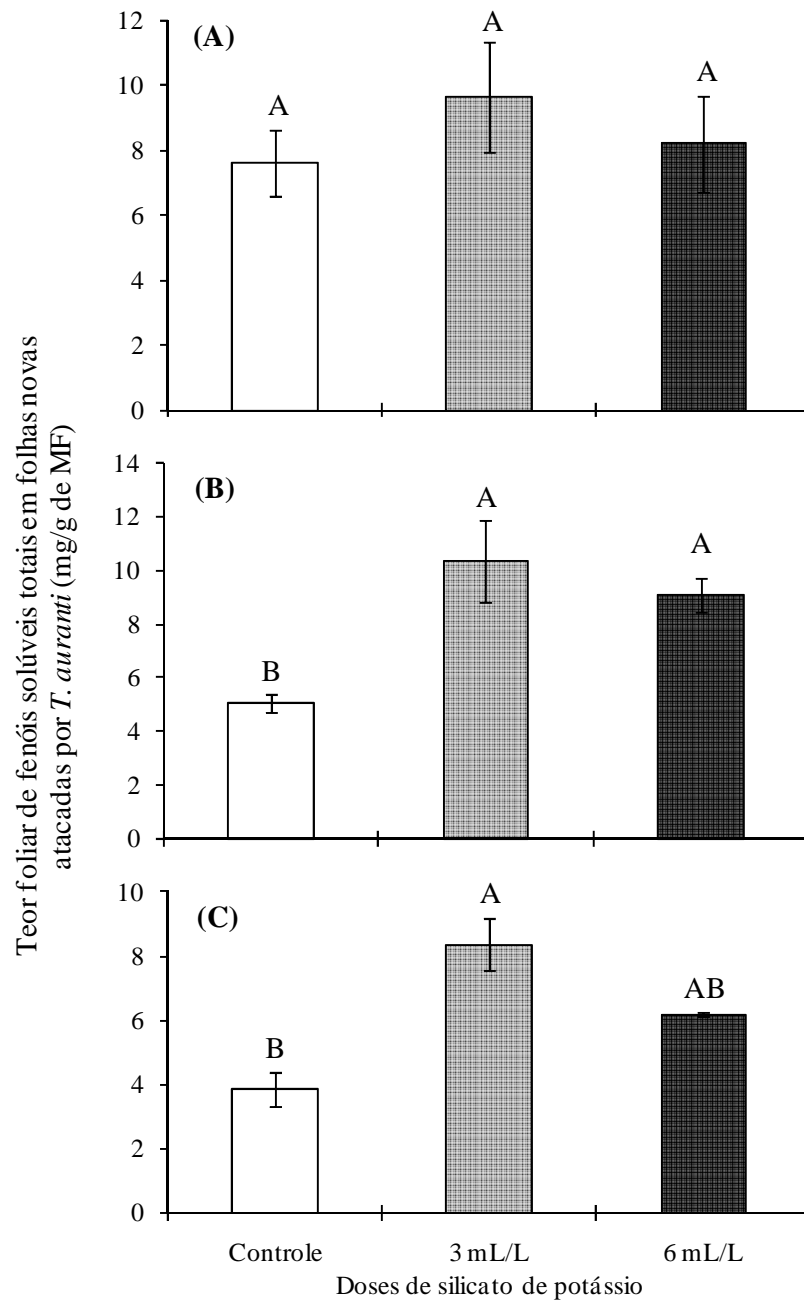


**Figura 1.** Índice de desempenho fotossintético ( $PI_{ABS}$  e  $PI_{TOTAL}$ ) e seus componentes:  $RC/ABS$  = densidade de centros de reação ativos de FSII;  $\phi P_o/(1-\phi P_o)$  = rendimento quântico máximo de FSII;  $\psi_o/(1-\psi_o)$  = eficiência das reações de oxi-redução além de quinona A reduzida, e  $\delta R_o/(1-\delta R_o)$  = eficiência com que um elétron pode mover-se do acceptor de elétron reduzido do intersistema para o acceptor final de FSI, obtidos das medidas da fluorescência da clorofila *a* em três genótipos de *T. cacao*. Os dados foram representados na forma de desvio em relação à média dos três genótipos ( $Md=1$ ). Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $P<0,05$ ),  $n=12$ .





**Figura 2.** Teor foliar de fenóis solúveis totais ( $\text{mg g}^{-1}$  de MF) em folhas novas sadias e atacadas por *T. auranti*. \*\* Significativo a 1% de probabilidade pelo teste Tukey. As barras verticais indicam o erro padrão da média,  $n=36$ .



**Figura 3.** Teor foliar de fenóis solúveis totais ( $\text{mg g}^{-1}$  de MF) em folhas novas atacadas por *T. aurantii* nos genótipos de *T. cacao* TSH 1188 (A), CCN 51 (B) e Catongo (C) em função da aplicação de doses de silicato de potássio e o controle. Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey ( $P < 0,05$ ),  $n=4$ .

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Com exceção do número de folhas, massa seca do caule e da raiz, as variáveis de crescimento dos genótipos de cacau foram reduzidas com o aumento das doses de silicato de potássio.
- Os genótipos CCN 51 e TSH 1188 apresentaram maior incremento do crescimento e da eficiência do aparato fotossintético quando comparado ao Catongo, em função do aumento da fotossíntese líquida, condutância estomática e do desempenho fotoquímico.
- Para os parâmetros de trocas gasosas, independente do genótipo estudado, a aplicação de silicato de potássio na dose 3 mL L<sup>-1</sup> aumentou apenas a fotossíntese líquida.
- O TSH 1188 foi o único genótipo em que a aplicação de 3 mL L<sup>-1</sup> de silicato de potássio promoveu aumento nos índices de clorofila e melhoria nas variáveis de fluorescência da clorofila *a*, principalmente no fluxo de energia de FSII e nos índices de desempenho fotoquímico.
- Os teores de fenóis solúveis totais aumentaram significativamente com a aplicação de 3 mL L<sup>-1</sup> de silicato de potássio em folhas novas atacadas por *T. aurantii* nos genótipos CCN 51 e Catongo.
- A dose que propiciou maior redução da incidência e nível de dano provocado por insetos-praga foi a 6 mL L<sup>-1</sup>.
- Não houve efeito significativo da aplicação de silicato de potássio via foliar sobre o teor de silício nas folhas nos genótipos de cacau, no entanto estes genótipos de destacaram como plantas acumuladoras desse elemento.
- De maneira geral, em conjunto com os resultados obtidos nos experimentos, a aplicação de silicato de potássio no cacaueiro, apresentasse como fonte alternativa e promissora ao controle químico, uma vez que proporcionou a planta uma melhor

eficiência fotossintética, aumento no teor de compostos fenólicos e reduziu a incidência e nível de dano provocado por insetos-pragas.