

**ABSORÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE SILÍCIO EM MUDAS DE *Eucalyptus camaldulensis***SILICON UPTAKE AND TRANSLOCATION IN *Eucalyptus camaldulensis* SEEDLINGS

Dalva Luiz de Queiroz¹ Joelma Melissa Malherbe Camargo² Renato Antonio Dedecek³
Edilson Batista de Oliveira⁴ Keti Maria Rocha Zanol⁵ Raul Cesar Nogueira Melido⁶

RESUMO

A busca pela alta produtividade e qualidade de plantas de eucalipto que sejam mais resistentes ao ataque de insetos-praga vem sendo cada vez mais estudada. Dentro deste contexto, realizou-se o estudo da absorção e a translocação de silício em plantas de *Eucalyptus camaldulensis*. O experimento foi realizado com o clone 58, em viveiro comercial da empresa Votorantim Siderurgia /Vazante – MG, onde foi avaliada a aplicação de silício via solo (silicato de cálcio) e via foliar (silicato de potássio), com três doses diferentes. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com oito tratamentos, 20 repetições, totalizando 160 plantas. A avaliação do experimento foi realizada com base na análise do teor de silício presente no substrato (%) e na matéria seca das raízes e parte aérea das plantas (mg planta⁻¹). Foram realizadas três avaliações aos 30, 60 e 90 dias após aplicação das doses de silício em folhas e raízes. Para o substrato foram realizadas quatro avaliações, sendo a primeira no dia da instalação do experimento (antes da aplicação de Si) e as demais aos 30, 60 e 90 dias após semeadura do eucalipto. Nas análises foliares realizadas, os maiores valores em relação ao teor de silício foram observados para o tratamento com aplicação de silicato de potássio (10mL/planta), T8, que foi em média 3 vezes maior, quando comparado aos tratamentos sem aplicação de silício (adubação padrão+110 gramas de CaO) – T1 e sem aplicação de silício (adubação padrão+1,71gramas de KCl) – T2. Os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si nas avaliações realizadas, em relação à percentagem de silício presente nas raízes de *Eucalyptus camaldulensis*. No substrato verificou-se um aumento significativo no teor do mineral aos 30, 60 e 90 dias, em função das doses crescentes de silicato, nas duas formas de aplicação, destacando o T8. Assim, foi possível concluir que *Eucalyptus camaldulensis* é capaz de absorver e translocar o mineral.

Palavras-chave: manejo de pragas; eucalipto; silvicultura.

ABSTRACT

The search for high productivity of *Eucalyptus* plants and seedlings with good nutritional and genetic quality, and more resistant to the insect-pest attack are being more and more studied. On this context, this study was realized to understand the absorption and the translocation of silicon in *Eucalyptus camaldulensis* seedlings. The experiment was carried through in a nursery belonging to 'Votorantim Siderurgia' company, in Vazante – MG state, where the application in substrate (calcium silicate) of the micronutrient was evaluated as well as its application on plant leaves (potassium silicate), at three different doses. The experimental design was entirely randomized, with eight treatments, 20 replicates, totalizing 160 plants. The evaluation

1 Engenheira Florestal, Dr^a., Pesquisadora da Embrapa Florestas, Estrada da Ribeira, km 111, Caixa Postal 319, CEP:83411-000, Colombo (PR), Brasil. dalva.queiroz@embrapa.br

2 Bióloga, Doutoranda pelo Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 19020, CEP 81531-990 Curitiba (PR), Brasil. Bolsista da CAPES. melissajoelma@yahoo.com.br

3 Engenheiro agrônomo, Dr., Pesquisador da Tilansia Consultoria Ambiental Ltda., Rua Vitória, 556, CEP 80035-240 Curitiba (PR), Brasil. dedecek@terra.com.br

4 Engenheiro agrônomo, Dr., Pesquisador da Embrapa Florestas Estrada da Ribeira, km 111, Caixa Postal 319, CEP 83411-000, Colombo (PR), Brasil. edilson.oliveira@embrapa.br

5 Bióloga, Dr^a., Professora do Departamento de Zoologia, Universidade Federal do Paraná, Caixa Postal 19020, CEP 81531-990 Curitiba (PR), Brasil. kzanol@ufpr.br

6 Engenheiro Florestal, Gerente Florestal de Silvicultura, Votorantim Siderurgia, Fazenda Bom Sucesso, s/n, Caixa Postal 04, CEP 38780-000, Vazante (MG), Brasil. raul.melido@vsiderurgia.com.br

Recebido para publicação em 8/05/2013 e aceito em 7/04/2017

of the experiment was carried through on the basis of the values of silicon present on the analysis of the dry matter of roots and aerial parts of plants (mg plant^{-1}) and in substrate (%). Three evaluations had been carried through at 30, 60 and 90 days after application of the doses of silicon in leaves and roots and four evaluations for the substrate samples, being the first evaluation at the beginning of the experiment (before the silicon fertilization) and the others at 30, 60 and 90 days after the eucalyptus sowing. Considering the leaf analyses, greater silicon content was observed on the treatment with application of potassium silicate (10 ml/plant) T8, that was on average 3 times more when compared to treatments without silicon (standard fertilization + 110 grams of CaO) – T1 and without application of silicon (standard fertilization + 1.71 grams of KCl) – T2. There were no differences among treatments in relation to silicon content in the *Eucalyptus camaldulensis* roots. In the substrate samples, a significant increase in the micronutrient content was observed at 30, 60 and 90 days, due to the increasing doses of silicate, in the two forms of application, especially on T8. Thus, it was possible to conclude that *Eucalyptus camaldulensis* is able to absorb and to translocate this mineral.

Keywords: pest management; eucalypt; forestry.

INTRODUÇÃO

A demanda crescente por mudas de eucalipto tem exigido um aumento na qualidade das mudas. Uma das formas para garantir a produção com qualidade é através do uso de adubação balanceada com elementos minerais que favorecem a rustificação das mudas antes de serem levadas ao campo, como é o caso do potássio mencionado por Davila et al. (2011) e do silício que torna a planta mais resistente à ação de fungos e insetos (KORNDÖRFER, 2014). Assim, é importante o desenvolvimento de estudos sobre os efeitos dos minerais, bem como sua absorção e atuação na planta, principalmente no que se refere à influência destes na ocorrência de pragas e doenças.

Entre os minerais que influenciam na qualidade e desenvolvimento do eucalipto e outras espécies de plantas, está o silício; sendo o segundo elemento mais abundante na crosta terrestre e, ocorre na natureza, principalmente na forma de silicatos e quartzo (SiO_2 -mineral inerte das areias) (EPSTEIN, 1999). A aplicação de adubos contendo silício pode ser feita via solo ou via foliar, sendo os silicatos as principais fontes de silício para as plantas, atualmente em uso no Brasil (KORNDÖRFER; PEREIRA; CAMARGO, 2002).

O silicato de cálcio (CaSiO_3) vem sendo estudado com frequência como fonte para aplicação direta no solo, com o objetivo de verificar os efeitos deste mineral sobre insetos considerados pragas. Outra fonte utilizada é o silicato de potássio (K_2SiO_3), via foliar. Em geral, sabe-se que o fornecimento de nutrientes via foliar não substitui a nutrição via solo, que é mais utilizada e difundida (CAMARGO; SILVA, 1990).

Nem todas as plantas são capazes de absorver ou acumular o silício, que constitui de 0,1% a 10% da matéria seca das mesmas. A absorção de silício pelas plantas dá-se como ácido monossilícico, (H_4SiO_4), de forma passiva, com o elemento acompanhando a absorção da água (JONES; HANDRECK, 1967). Mesmo para plantas não acumuladoras de silício, vários autores têm demonstrado que este mineral apresenta efeitos benéficos às plantas, melhorando a resistência das mesmas aos estresses bióticos e abióticos (HATTORI et al., 2005; GUNES et al., 2008; CRUSCIOL et al., 2009).

A sílica concentra-se nos tecidos de suporte do caule e nas folhas, podendo ser encontrada em menores quantidades nas sementes e raízes (SANGSTER et al., 2001). A sílica hidratada pode estar depositada no lúmen e na parede celular, nos espaços intercelulares ou nas camadas externas, em raízes, folhas e brácteas das inflorescências de cereais, conferindo proteção às plantas e amenizando os efeitos de estresses de natureza biótica e abiótica (EPSTEIN, 1994; 1999).

A movimentação de silício na planta depende de sua concentração na solução do solo e da espécie da planta. Em baixas concentrações é reduzido o transporte por fluxo de massa, que passa a ser significativo quando se tratar de plantas acumuladoras cultivadas em solos com elevados teores do elemento (MARSCHNER, 1995). O silício absorvido pelas plantas é facilmente translocado no xilema e, tem tendência natural a se polimerizar associando-se a compostos orgânicos como proteínas, polissacarídeos e lignina (EPSTEIN, 1994). Sua distribuição na planta está relacionada com a taxa transpiratória das partes

da planta. Esta distribuição depende muito da espécie: é uniforme nas plantas que acumulam pouco silício e nas espécies acumuladoras 90% do elemento encontra-se na parte aérea (KORNDÖRFER et al., 1999).

Parte do silício absorvido permanece na forma solúvel, mas a maior parte dele é incorporada na parede das células da epiderme, dos estômatos e tricomas das folhas e pequena parte forma depósitos amorfos (EPSTEIN, 2001). A maior parte do Si é incorporada na parede celular, principalmente nas células da epiderme, estômatos e tricomas, sendo que sua deposição nos tecidos é influenciada por vários fatores, dentre eles a idade da planta, o tipo e a localização dos tecidos envolvidos e a absorção através das raízes e a transpiração (KORNDÖRFER, 2014).

Segundo Marschner (1995), as diferentes espécies vegetais variam grandemente em sua capacidade de absorver e acumular silício nos tecidos, podendo, em função dos percentuais de SiO_2 na matéria seca da parte aérea, serem classificadas em três grupos: acumuladoras, com teor elevado de silício, sendo a absorção ligada à respiração aeróbica; arroz e a cana-de-açúcar são exemplos desse grupo; b) não acumuladoras, com baixo teor de Si, mesmo com altos níveis no meio, indicando um mecanismo de exclusão: a maioria das dicotiledônias; c) intermediárias, com quantidade considerável de Si, quando a concentração no meio é alta. As cucurbitáceas e a soja enquadram-se neste tipo, pois translocam o Si livremente das raízes para a parte aérea. Neste sentido Duarte e Coelho (2011) avaliaram o efeito do silício sobre o desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* e verificaram que este híbrido absorveu e acumulou uma quantidade significativa de silício ($0,23 \text{ dag kg}^{-1}$), sendo considerada intermediária.

Carvalho et al. (2003) observaram que o conteúdo de Si na matéria seca da parte aérea das plantas de *Eucalyptus grandis*, cultivadas em solos dos tipos Latossolo Vermelho distrófico e Cambissolo Háplico Tb distrófico, aumenta de forma linear, com as doses do elemento aplicado ao solo e afirma que o eucalipto não é uma planta acumuladora de Si. Embora seja responsiva absorvendo o Si, a maior parte deste fica retida nas raízes.

Epstein (2001) citou alguns exemplos de ações benéficas que o silício é capaz de promover na planta, em casos cientificamente comprovados, tais como: resistência ao ataque de organismos patogênicos; melhor estruturação da arquitetura das plantas; resistência à herbivoria de insetos fitófagos; redução da fitotoxidez das plantas causadas por metais pesados, entre outras. De acordo com Cacique et al. (2013), o fornecimento de Si para plantas de arroz, tanto na forma solúvel aplicada nas raízes ou a sua pulverização sobre a parte aérea, pode aumentar a resistência das plantas ao ataque de fungos. Segundo Pinto et al. (2009), a adição do Si ameniza o efeito negativo de metais pesados, como por exemplo o excesso de Zn sobre o crescimento de plantas de *Eucalyptus urophylla* e proporciona uma utilização mais eficiente de P, Ca, Mg e S por estas plantas.

O uso de silício na eucaliptocultura pode ter efeito benéfico na redução de insetos-praga e doenças, no entanto, há poucos estudos sobre o seu efeito. Assim, esse trabalho objetivou analisar a capacidade de *Eucalyptus camaldulensis* em absorver, translocar e acumular o silício.

MATERIAL E MÉTODO

O experimento foi conduzido no período de agosto a dezembro de 2007 em viveiro comercial da fazenda Bom Sucesso, pertencente à empresa Votorantim Siderurgia, cidade de Vazante, região noroeste do Estado de Minas Gerais ($17^{\circ}36'9''\text{S}$ e $46^{\circ}42'2''\text{W}$, com altitude de 550 m). A temperatura média anual no local é de $26,3^{\circ}\text{C}$, com precipitação média anual de 1.330 mm, evapotranspiração potencial de 1.666 mm e déficit hídrico de 497 mm.

As sementes de *Eucalyptus camaldulensis* pertencentes ao clone 58, foram semeadas em tubetes com capacidade de 110 cm^3 preenchidos com o substrato do experimento (Plantmax®) com adubação padrão (NPK (4-14-8)). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo oito tratamentos, com 20 plantas por tratamento, totalizando 160 plantas. Foram testadas três doses de silício duas fontes (silicato de cálcio e potássio) e duas formas de aplicação (via solo e foliar).

Como fonte de silício foi utilizado o silicato de cálcio via solo (Agrosilício® – teor de SiO_2 22,4% e CaO 34,9%) e o silicato de potássio via foliar (Sili-K® – teor de Si 12,2% e K_2O 15%). A aplicação das doses via solo, foram realizadas misturando-se o silicato de cálcio ao substrato, antes da semeadura.

A aplicação via foliar foi realizada com pulverizador manual, nas três doses e parcelada em três vezes, sendo a primeira realizada 30 dias após a semeadura, logo após o aparecimento das primeiras plântulas, as demais aplicações, realizadas com intervalo de 7 sete dias.

Os tratamentos foram: T1 – sem aplicação de silício (adubação padrão + 110 gramas de CaO); T2 – sem aplicação de silício (adubação padrão + 1,71 gramas de KCl); T3 – aplicação do silicato de cálcio (110 mg/planta); T4 – aplicação do silicato de cálcio (220 mg/planta); T5 – aplicação do silicato de cálcio (440 mg/planta); T6 – aplicação do silicato de potássio (2,5 mL/L de água); T7 – aplicação de silicato de potássio via foliar (5 mL/planta); T8 – aplicação de silicato de potássio (10 mL/planta).

A adubação padrão consistiu de 420 g de nitrato de cálcio, 200 g de cloreto de K, 200 g de sulfato de Mg, 136 g de MAP e 200 g de solução de micronutrientes diluídos em 200 L de água. Esta solução foi aplicada diariamente por meio de fertirrigação, totalizando ao final do experimento (90 dias) um volume de 0,51 L da solução para cada tubete.

Para os tratamentos T1 e T2 (controle – sem aplicação de silício) foi feita a aplicação de óxido de cálcio e de cloreto de potássio, para que faltasse nestes tratamentos apenas o elemento Si e não outros minerais.

A avaliação do experimento foi realizada com base nos valores do teor de silício presente na matéria seca das raízes e na parte aérea das plantas (mg planta⁻¹) e no substrato (%). Foram realizadas três avaliações aos 30, 60 e 90 dias após aplicação das doses de silício, em folhas e raízes, sendo coletadas 50 amostras por tratamento. O substrato foi avaliado em quatro ocasiões: no dia da instalação do experimento, antes da aplicação dos tratamentos (0 dias) e, 30, 60 e 90 dias após semeadura de *Eucalyptus camaldulensis* (Tabela 3). A preparação das amostras foi feita no Laboratório de Solos e Nutrição da Embrapa Florestas, no qual estas foram secas e moídas.

Após o processo de secagem e moagem as amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Material Vegetal da Universidade Federal de Uberlândia, no Departamento de Agronomia, para realizar as análises do teor de silício presente nas folhas e, raiz (mg planta⁻¹) e substrato (%) de acordo com Korndörfer, Pereira e Nola (2004). As amostras de folhas e raízes foram individualizadas em frascos plásticos para posterior pesagem da matéria seca, dados estes necessários para a realização das análises de absorção, eficiência de absorção e translocação de silício.

A absorção de silício pela planta foi calculada conforme Marschner (1995) e Siddiqi e Glass (1981): Eficiência de absorção = [Conteúdo de Si na planta, mg] / [Matéria seca de raízes, mg]. A translocação de silício foi avaliada com base na relação conteúdo de silício na parte aérea/contéudo de silício nas raízes, proposto por Carvalho et al. (2003).

Para a análise dos dados obtidos para o teor de silício em folhas, raízes e substrato, foi feita uma ANOVA e para a separação das médias utilizou-se o teste Tukey a 5% de significância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conforme análise apresentada no tempo zero (antes da aplicação dos tratamentos), Tabela 1, o substrato (Plantmax®) utilizado no experimento já apresentava uma pequena quantidade de silício antes da aplicação dos tratamentos (0 dias). No entanto, esta quantidade não diferiu inicialmente para todos os tratamentos. No decorrer das avaliações, os tratamentos apresentaram uma tendência crescente deste mineral no substrato.

Nas avaliações realizadas aos 30 e 90 dias, bem como na média geral do experimento, houve diferença significativa entre os tratamentos e as testemunhas. Pode-se observar por esta tabela, que houve pouca mudança nos teores de Si nos tratamentos T1 e T2, em todas as análises subsequentes.

O silício contido nas formulações do silicato de cálcio além de apresentar liberação lenta do mineral, necessita de uma grande quantidade para suprir as necessidades das plantas. Um dos efeitos benéficos da aplicação do silicato de potássio via foliar é que o potássio além de ser considerado nutriente essencial, participa ativamente no metabolismo de carboidratos dentro das plantas (MARSCHNER, 1995).

TABELA 1: Análise do teor de silício (%) disponível no substrato de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* aos 0, 30, 60 e 90 dias, com e sem aplicação de silício via foliar e solo.TABLE 1: Analysis of silicon content (%) available in substrate of *Eucalyptus camaldulensis* seedlings at 0, 30, 60 and 90 days, with and without application of silicon foliar and soil.

Tratamentos	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	Média
	Avaliação 0 dias	Avaliação 30 dias	Avaliação 60 dias	Avaliação 90 dias	
	Teor de Si no substrato (%)				
T1 (substrato padrão + 110 g CaO)	0,29a	0,29b	0,34c	0,40c	0,33c
T2 (substrato padrão + 1,71 g KCl)	0,30a	0,20b	0,20c	0,36c	0,26c
T3 (110 mg de CaSiO ₃ via solo)	0,27a	0,50a	0,50b	0,58b	0,46b
T4 (220 mg de CaSiO ₃ via solo)	0,28a	0,53a	0,53b	0,62b	0,49b
T5 (440 mg de CaSiO ₃ via solo)	0,32a	0,57a	0,67b	0,63b	0,55b
T6 (2,5 mL/L de K ₂ SiO ₃ via foliar)	0,31a	0,45a	0,67b	0,57b	0,50b
T7 (5 mL/L de K ₂ SiO ₃ via foliar)	0,35a	0,46a	0,81a	0,67b	0,57b
T8 (10 mL/L de K ₂ SiO ₃ via foliar)	0,42a	0,51a	0,91a	0,82a	0,66a

Em que: Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Uma explicação lógica para o aumento do silício no solo, nos tratamentos 7 e 8 é que sendo a aplicação foliar realizada com pulverizador manual, com a irrigação, parte deste é lavado das folhas, sendo depositado no substrato, aumentando assim o teor de silício no substrato em uma forma solúvel e mais facilmente detectado nas análises.

Na análise foliar realizada aos 30 dias (1^a avaliação), verificou-se que o teor de silício em mudas de *Eucalyptus camaldulensis* foi maior para todos os tratamentos com aplicação de silicatos os quais diferiram estatisticamente dos tratamentos T1 e T2 que não receberam aplicação do mineral (Tabela 2), demonstrando que o eucalipto respondeu a adição de Si, concordando com Duarte e Coelho (2011).

TABELA 2: Análise do teor de silício (mg planta⁻¹) na parte aérea (folha + caule) realizado em mudas de *Eucalyptus camaldulensis* aos 30, 60 e 90 dias, com e sem aplicação de silício via foliar e solo.TABLE 2: Analysis of content (mg plant⁻¹) of silicon in the shoot (leaf + stem) held in *Eucalyptus camaldulensis* at 30, 60 and 90 days, with and without application of silicon foliar and soil.

Tratamentos	1 ^a Avaliação	2 ^a Avaliação	3 ^a Avaliação	Média
	(30 dias)	(60 dias)	(90 dias)	
	Teor de Si (mg planta ⁻¹)			
T1 (substrato padrão + 110 g CaO)	0,28c	0,32b	0,29b	0,30c
T2 (substrato padrão + 1,71 g KCl)	0,20c	0,38b	0,32b	0,30c
T3 (110 mg de CaSiO ₃ via solo)	0,46b	0,49b	0,44b	0,46b
T4 (220 mg de CaSiO ₃ via solo)	0,36b	0,53b	0,42b	0,44b
T5 (440 mg de CaSiO ₃ via solo)	0,43b	0,44b	0,35b	0,41b
T6 (2,5 mL/L de K ₂ SiO ₃ via foliar)	0,49b	0,39b	0,68a	0,52b
T7 (5 mL/L de K ₂ SiO ₃ via foliar)	0,40b	0,34b	0,46b	0,40b
T8 (10 mL/L de K ₂ SiO ₃ via foliar)	0,84a	0,75a	0,87a	0,82a

Em que: Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Em todas as avaliações (aos 30, 60 e 90 dias após aplicação de silício) o T8, o qual recebeu a maior dose de silicato de potássio (via foliar), apresentou os maiores teores de silício na parte aérea, sendo em média três vezes maior, quando comparado aos tratamentos T1 e T2 (sem aplicação de silício) e quase duas vezes maior que os tratamentos com aplicação do silicato de cálcio. Apesar dos demais tratamentos não apresentarem diferenças significativas entre as testemunhas na segunda e terceira avaliações, foram diferentes na primeira avaliação e na média do período.

Os acréscimos no teor de silício apresentados pela maioria dos tratamentos com aplicação via solo ou foliar não foram suficientes para detectar diferenças significativas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$) aos 60

e 90 dias, exceto para o T8. Entretanto, estas diferenças foram detectadas aos 30 dias e na média dos três períodos.

As quantidades de silício nos substratos e na parte aérea possibilitaram ajustes de regressões lineares com coeficientes angulares próximos ao valor um aos 30 dias, 90 dias e na média, indicando aumento de silício na parte aérea em função do silício no substrato (Figura 1).

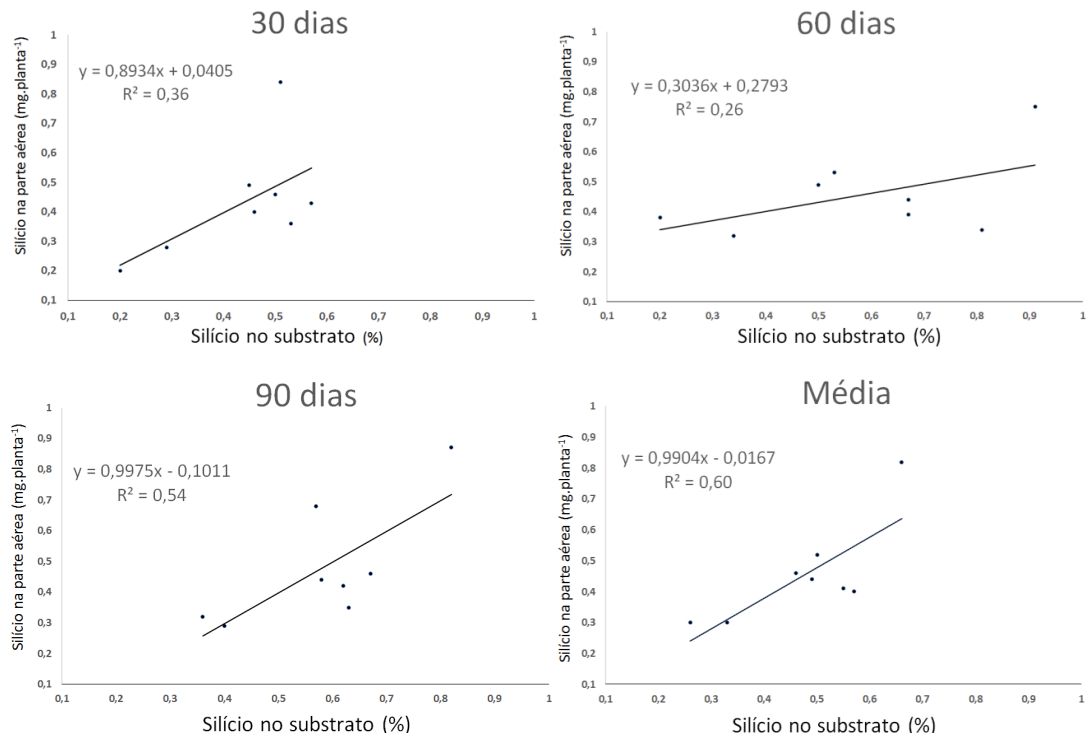


FIGURA 1: Regressão linear de silício na parte aérea de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* aos 30, 60 e 90 dias, em função do silício no substrato.

FIGURE 1: Linear regression of silicon in the shoots of seedlings of *Eucalyptus camaldulensis* at 30, 60 and 90 days, according to the silicon in the substrate.

Korndörfer et al. (2005) relatou que o aumento na disponibilidade de silício no solo é normalmente acompanhado pelo acréscimo no conteúdo de silício nas plantas, o que pode ser verificado para o tratamento T8, que apresentou maior quantidade do mineral no solo e consequentemente aumento de silício em folha e raiz (Tabelas 1, 2 e 3).

Carvalho et al. (2003) observou que o *Eucalyptus grandis* responde à aplicação de silício absorvendo e translocando o mineral e que, o conteúdo de Si na parte aérea aumenta de forma linear, com as doses do elemento aplicado ao solo. Aqui é possível observar que o aumento na disponibilidade de silício no solo é acompanhado pelo acréscimo no teor de silício nas plantas, o que pode ser verificado quando se comparam os tratamentos com e sem aplicação de silício (Tabelas 1, 2 e 3).

Guével et al. (2007) ressaltaram que são necessários mais estudos a respeito da absorção via foliar, já que não há evidências consistentes da absorção de silício pelas folhas.

Em relação ao teor de silício obtido em raízes de *Eucalyptus camaldulensis*, os tratamentos não diferiram estatisticamente entre si nas avaliações realizadas aos 30 e 60 dias após aplicação do elemento (Tabela 2).

TABELA 3: Análise do teor (mg planta⁻¹) de silício realizado em raízes de mudas de *Eucalyptus camaldulensis* aos 0, 30, 60 e 90 dias, com e sem aplicação de silício via foliar e solo.

TABLE 3: Analysis of silicon content (mg plant⁻¹) in roots of *Eucalyptus camaldulensis* seedlings at 0, 30, 60 and 90 days, with and without application of silicon foliar and soil.

Tratamentos	1ª Avaliação	2ª Avaliação	3ª Avaliação	Média
	30 dias	60 dias	90 dias	
Teor de Si (mg planta ⁻¹)				
T1 (substrato padrão + 110 g CaO)	0,33a	0,22a	0,15b	0,23a
T2 (substrato padrão + 1,71 g KCl)	0,30a	0,19a	0,10b	0,20a
T3 (110 mg de CaSiO ₃ via solo)	0,21a	0,20a	0,29b	0,23a
T4 (220 mg de CaSiO ₃ via solo)	0,26a	0,20a	0,21b	0,22a
T5 (440 mg de CaSiO ₃ via solo)	0,28a	0,18a	0,22b	0,23a
T6 (2,5 mL/L de K ₂ SiO ₃ via foliar)	0,29a	0,19a	0,22b	0,23a
T7 (5 mL/L de K ₂ SiO ₃ via foliar)	0,29a	0,29a	0,37a	0,32a
T8 (10 mL/L de K ₂ SiO ₃ via foliar)	0,28a	0,19a	0,38a	0,28a

Em que: Médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Na terceira avaliação, aos 90 dias, os tratamentos T7 e T8 (aplicação via foliar) apresentaram valores superiores para a quantidade de silício presente nas raízes, quando comparados aos demais tratamentos, diferentemente dos resultados obtidos por Carvalho et al. (2003), que observaram a retenção de silício em raízes de *Eucalyptus grandis* a partir dos 60 dias. Vale ressaltar que por se tratar de espécies distintas, elas podem responder diferentemente à aplicação do mineral.

De acordo com Jones e Handreck (1967), depósitos radiculares foram detectados principalmente em dicotiledôneas, nas quais o teor de SiO₂ nas raízes é relativamente alto em relação à parte aérea. Comparando-se os resultados das Tabelas 2 e 3, observa-se que os teores de silício em raízes foram mais baixos, em relação à parte aérea, em todo o período avaliado, corroborando Korndörfer (2014), que menciona que de modo geral o Si ocorre com maior frequência na parte aérea. Por outro lado, os resultados discordam de Carvalho et al. (2003), que observaram maior eficiência de translocação de Si em *Eucalyptus grandis* no estágio inicial de crescimento (60 dias), ficando a maior parte retida nas raízes a partir dessa época.

Os valores obtidos para absorção e translocação de silício nos tratamentos com aplicação dos silicatos via solo e foliar, diferiram estatisticamente dos valores obtidos para T1 e T2 (Tabela 4).

TABELA 4: Absorção e translocação (mg planta⁻¹) de silício em mudas de *Eucalyptus camaldulensis*, com aplicação de diferentes doses, fontes e formas de aplicação.

TABLE 4: Absorption and translocation (mg plant⁻¹) of silicon in *Eucalyptus camaldulensis*, with different doses, sources and forms of application.

Tratamentos	Absorção			Translocação		
	30 dias	60 dias	90 dias	30 dias	60 dias	90 dias
Teor de Si na planta (mg planta ⁻¹)						
T1 (substrato padrão + 110 g CaO)	2,75Aa	0,72Cb	0,71Cb	0,84Cb	1,90Ba	1,40Ba
T2 (substrato padrão + 1,71 g KCl)	2,50Aa	1,18Bb	0,47Cc	0,66Cb	2,00Ba	2,20Ba
T3 (110 mg de CaSiO ₃ via solo)	1,75Ba	1,56Bb	0,9Bb	2,19Ba	1,60Bb	2,31Ba
T4 (220 mg de CaSiO ₃ via solo)	2,16Aa	1,25Bb	1,61Ab	1,38Bb	2,65Ba	1,23Bb
T5 (440 mg de CaSiO ₃ via solo)	2,33Aa	1,12Bb	1,04Bb	1,89Bb	2,44Ba	1,59Bb
T6 (2,5 mL/L de K ₂ SiO ₃ via foliar)	2,41Aa	1,18Bb	1,04Bb	1,68Bc	2,05Bb	3,09Aa
T7 (5 mL/L de K ₂ SiO ₃ via foliar)	2,41Aa	1,81Ab	1,76Ab	1,37Ba	1,17Ca	1,24Ba
T8 (10 mL/L de K ₂ SiO ₃ via foliar)	1,83Ba	1,18Bb	1,8Aa	3Ab	3,94Aa	3,10Ab

Em que: Médias seguidas pela mesma letra maiúscula nas colunas e minúscula nas linhas não diferem pelo teste de Tukey (p<0,05).

Em relação à absorção, só houve diferença significativa aos 90 dias, quando os tratamentos com aplicação de silício diferiram estatisticamente da testemunha.

Para as duas fontes analisadas, as plantas foram eficientes em absorver o silício fornecido e translocá-lo das raízes para a parte aérea até os 90 dias. Os níveis de absorção de silício para alguns tratamentos apresentaram pequeno decréscimo aos 60 e 90 dias após aplicação, com valores distintos da testemunha, sendo possível inferir que ocorre absorção de silício por plantas de *Eucalyptus camaldulensis*.

Carvalho et al. (2003), quando avaliaram a absorção e translocação de silício em *Eucalyptus grandis*, verificaram que os valores de silício obtidos (mg/vaso) nas plantas, enquadrava a espécie como planta não acumuladora.

Em estudos realizados por Werner e Roth (1983), foi observado que o pinus foi capaz de absorver grandes quantidades de silício, como verificado nesse experimento no qual se obtiveram níveis de absorção e translocação significativos. Apesar de *Eucalyptus camaldulensis* absorver altos níveis de silício, a espécie foi caracterizada como não acumuladora por Marschner (1995). No entanto, Duarte e Coelho (2011), avaliando o efeito do silício sobre o desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, verificaram que este híbrido absorveu e acumulou uma quantidade significativa de silício ($0,23 \text{ dag kg}^{-1}$), sendo considerado planta intermediária, divergindo de Carvalho et al. (2003) para *Eucalyptus grandis* que classificam a planta como não acumuladora, embora seja responsiva.

Em relação aos níveis de translocação, os tratamentos com maiores doses do silicato via solo apresentaram um aumento na quantidade de silício translocado aos 60 dias e redução na eficiência aos 90 dias. O que também foi constatado por Carvalho et al. (2003) em plantas de *Eucalyptus grandis* com o avançar da idade das plantas.

Em relação à translocação de silício nos tratamentos com aplicação do silicato via foliar, observou-se que os tratamentos T6 e T8 apresentaram valores superiores e distintos dos demais tratamentos aos 90 dias sendo considerados mais eficientes em relação à translocação do mineral.

Os tratamentos com aplicação do silicato via solo e foliar apresentaram valores expressivos quando comparados com os que não receberam a aplicação de silício. Ainda neste contexto, pode-se ressaltar que a translocação de silício nas plantas de *Eucalyptus camaldulensis* no T8, com aplicação do silicato via foliar, destacou-se obtendo as maiores médias.

CONCLUSÕES

Os dados obtidos neste trabalho permitem afirmar que o *Eucalyptus camaldulensis* é capaz de absorver e translocar silício, aos 60 dias após a aplicação de adubo silicatado e nas maiores dosagens de ambas as fontes de Si usadas;

A translocação do silício em plantas de *Eucalyptus camaldulensis* é maior aos 60 dias após a aplicação de diferentes fontes de Si;

A fonte de silício que resulta em maiores teores deste elemento na parte aérea e raízes de plantas de eucalipto é o silicato de potássio aplicado via foliar e na maior dose testada de 10 mL/L;

Pelos resultados obtidos nesta pesquisa pode-se concluir que o eucalipto não é uma planta acumuladora de silício.

REFERÊNCIAS

- CACIQUE, I. S. et al. Effect of root and leaf applications of soluble silicon on blast development in rice. **Bragantia**, Campinas, v. 72, 2013.
- CAMARGO, P. N.; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo: Herba, 1990. 256 p.
- CARVALHO, R. et al. Absorção e translocação de silício em mudas de eucalipto cultivadas em Latossolo e Cambissolo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, p. 491-500, 2003.
- CRUSCIOL, C. A. et al. Effects of silicon and drought stress on tuber yield and leaf biochemical characteristics in potato. **Crop Science**, Madison, v. 49, n. 3, p. 949-954, 2009.
- DAVILA, F. S. et al. Efeito do potássio na fase de rustificação de mudas clonais de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 35, p. 13-19, 2011.

- DUARTE, I. N.; COELHO L. Uso do silício no cultivo de mudas de eucalipto. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 7, n. 12, p. 1-10, 2011.
- EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings Natural Academy Science**, [S. l.], v. 91, p. 11-17, 1994.
- EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 641-664, 1999.
- EPSTEIN, E. Silicon in plants: facts vs. concepts. In: DATNOFF, L. E. et al. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. Netherlands: Elsevier Science, 2001. p. 1-15.
- GUÉVEL, M. H. et al. Effect of root and foliar applications of soluble silicon on powdery mildew control and growth of wheat plants. **European Journal of Plant Pathology**, Dordrecht, v. 119, p. 429-436, 2007.
- GUNES, A. et al. Influence of silicon on sunflower cultivars under drought stress, II: Essential and nonessential element uptake determined by polarized energy dispersive X-ray fluorescence. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 39, n. 13, p. 1904-1927, 2008.
- HATTORI, T. et al. Application of silicon enhanced drought tolerance in Sorghum bicolor. **Physiologia Plantarum**, Malden, v. 123, n. 4, p. 459-466, 2005.
- JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soil, plants and animals. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 107-147, 1967.
- KORNDÖRFER, G. H. **Uso do silício na agricultura**. Uberlândia: Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura, [2014]. Disponível em: <<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/Silicio/Efeitos/Efeitos.htm>>. Acesso em: 3 abr. 2014.
- KORNDÖRFER, G. H. et al. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 623-629, 1999.
- KORNDÖRFER, G. H. et al. Extratores de silício solúvel em solos: influência do calcário e fósforo. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 9-19, 2005.
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. 2. ed. Uberlândia: GPSi; ICIAG; UFU, 2002. 24 p. (Boletim Técnico, 1).
- KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLA, A. **Análise de silício: lesões causadas pela brusone e pela mancha-parda, solo, planta e fertilizante**. 2. ed. Uberlândia: UFU, 2004. 34 p. (Boletim técnico, 2).
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic Press, 1995. 889 p.
- PINTO, S. I. C. et al. Silício como amenizador da fitotoxicidade de zinco em plantas jovens de *Eucalyptus urophylla* cultivadas em solução nutritiva. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 33, p. 1005-1014, 2009.
- SANGSTER, A. G. et al. **Silicon in Agriculture**. Studies in plant science. Amsterdam: Elsevier, 2001. v. 8.
- SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 4, p. 289-302, 1981.
- WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LAUCHLI, A.; BIELESKI, R. L. (Ed.). **Encyclopedia of plant physiology: new series**. Berlin: Springer-Verlag, 1983. v. 15. p. 682-694.