

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS SÃO JOÃO EVANGELISTA
RAFAELA CARLA SANTOS PERPÉTUO**

**AVALIAÇÃO DO USO DE SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NO
CONTROLE DA MANCHA BACTERIANA E NO DESENVOLVIMENTO DE
MUDAS DE *Eucalyptus* SPP.**

SÃO JOÃO EVANGELISTA – MG

2020

RAFAELA CARLA SANTOS PERPÉTUO

**AVALIAÇÃO DO USO DE SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NO
CONTROLE DA MANCHA BACTERIANA E NO DESENVOLVIMENTO DE
MUDAS DE *Eucalyptus* SPP.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Instituto Federal de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, como exigência parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Natália Risso Fonseca

SÃO JOÃO EVANGELISTA - MG

2020

FICHA CATALOGRÁFICA

P453a
2020 Perpétuo, Rafaela Carla Santos.

Avaliação do uso de silicato de cálcio e magnésio no controle da mancha bacteriana e no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus* spp. / Rafaela Carla Santos Perpétuo. – São João Evangelista: IFMG, 2020.

42fl.;il.

Orientadora: Dra. Natália Risso Fonseca.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista, 2020.

1. *Xanthomonas axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov.. 2. Controle alternativo de doenças. 3. Silício. I. Perpétuo, Rafaela Carla Santos. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – Campus São João Evangelista. III. Título.

CDD 634.97342

Catálogo: Rejane Valéria Santos – CRB-6/2907

RAFAELA CARLA SANTOS PERPÉTUO

**AVALIAÇÃO DO USO DE SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO NO
CONTROLE DA MANCHA BACTERIANA E NO DESENVOLVIMENTO
DE MUDAS DE *Eucalyptus* SPP.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Instituto Federal de Minas Gerais –
Campus São João Evangelista, como
exigência parcial para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovada em 16 / 11 / 2020

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Natália Rizzo Fonseca (Orientadora)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *campus* São
João Evangelista



Prof. Dr. Bruno Oliveira Lafetá
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *campus* São
João Evangelista



Prof. Me. Ivan da Costa Ilhéu Fontan
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais – *campus* São
João Evangelista

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por me proporcionar a conquista de concluir com êxito esta grande etapa e estar presente me guiando e orientando, em todos os momentos de minha vida. Ao meu pai Rafael e a minha filha Laura, pela compreensão, apoio e carinho que me dedicaram durante todos esses anos. Ao meu namorado Carlos pelo apoio e companheirismo e por resolver embarcar comigo em algumas etapas importantes desta jornada. A Prof^a Natália Risso Fonseca pelo imenso auxílio e efetiva participação neste trabalho, como também pela grande contribuição no meu crescimento pessoal e profissional.

Agradeço ao colega Hiago por sua tamanha dedicação, disponibilidade e entusiasmo. À Fernanda, Juliana, Sarah, Carolaine, Carlos e a todos os colegas que, de alguma forma, contribuíram para a execução deste trabalho.

Ao Prof^o Ivan Costa Ilhéu Fontan, que nos deu suporte quando precisamos e ao Prof. Bruno Oliveira Lafetá pelo grande auxílio quanto à estatística deste trabalho. Ao Ricardo e ao Lucas, sempre prontos a ajudar no laboratório. Ao senhor Adair pela paciência, grande disposição em contribuir e pelas aulas de produção de mudas no viveiro, em que tanto aprendi. Ao Prof^o Nildimar Gonçalves Madeira e a empresa CENIBRA, pela doação de materiais essenciais à execução deste trabalho.

Ao laboratório de Patologia Florestal da Universidade Federal de Viçosa e a todos que nele trabalham por me proporcionarem tanto aprendizado e experiência e ao Prof. Acelino Couto Alfenas por me receber e disponibilizar o isolado bacteriano utilizado durante os experimentos.

Por fim, agradeço ao Instituto Federal de Minas Gerais pela oportunidade e pelos conhecimentos adquiridos ao longo de todos esses anos e a todos que de alguma maneira, direta ou indiretamente, contribuíram para essa conquista.

“Quem se arrisca a andar por ares nunca antes respirados ou pensar fora da curva tem grandes chances de encontrar pedras no caminho. No entanto, ninguém é digno de contribuir para a ciência se não usar suas dores e insônias nesse processo. Não há céu sem tempestade. Risos e lágrimas, sucessos e fracassos, aplausos e vaias fazem parte do currículo de cada ser humano, em especial daqueles que são apaixonados por produzir novas ideias.”

August Cury

RESUMO

Nas últimas décadas a área de florestas plantadas vem se expandindo no Brasil e a elevada produtividade do eucalipto observada, atualmente, é resultado de boas práticas de manejo, melhoramento genético e boa adaptação do gênero às condições ambientais do país. No entanto, existem, atualmente, várias doenças de origem fúngica e bacteriana que acometem a cultura do eucalipto em condições de viveiro e campo causando danos e prejuízos à produção. Entre elas, a mancha bacteriana do eucalipto, causada predominantemente por *Xanthomonas axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov. destaca-se como uma das principais doenças em viveiros de produção de mudas. A adubação adequada durante o crescimento das plantas em viveiros é um dos fatores cruciais para a produção de mudas saudáveis e vigorosas, desempenhando, adicionalmente, efeitos secundários na resistência à doenças. O silício, apesar de não ser um elemento essencial às plantas, vem se destacando devido ao seu efeito benéfico no controle de diversas doenças causadas por fitopatógenos. Dessa forma, considerando a necessidade de novas recomendações para o manejo da mancha bacteriana do eucalipto, somada a falta de estudos sobre o potencial do uso do silício no controle de patógenos que infectam o eucalipto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do silício, na forma de silicato de cálcio e magnésio, no controle da mancha bacteriana do eucalipto e no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus* spp. Foram utilizadas mudas de *Eucalyptus* spp. com aproximadamente 70 dias de idade transplantadas para sacolas contendo substrato comercial incorporado às seguintes doses de silicato de cálcio e magnésio: T1: 0 mg/dm³; T2: 250 mg/dm³; T3: 500 mg/dm³ -1; T4: 1000 mg/dm³ e T5: 2000 mg/dm³. As mudas foram inoculadas com a suspensão bacteriana 60 dias após o transplantio. Aos 10, 20 e 30 dias após a inoculação avaliou-se a severidade da doença e realizou-se a contagem do número total de folhas de cada planta. Foram também realizadas medições dos atributos físicos diâmetro da base do coleto, altura total da parte aérea e massa fresca e seca da parte aérea das plantas após o ensaio. A aplicação de diferentes doses de silicato de cálcio e magnésio não proporcionou redução da severidade da doença e não houve diferença significativa nas análises dos atributos físicos das plantas mediante aos diferentes tratamentos. O período de 30 dias de avaliação da severidade da bacteriose nas mudas de eucalipto inoculadas foi comprovado ser suficiente nas condições deste trabalho, não havendo aumento da severidade da doença após esse

período, confirmando a efetividade do período adotado para a avaliação dos sintomas. No entanto, se faz necessário a realização de mais estudos envolvendo o nutriente e plantas dicotiledôneas, em especial o eucalipto, para que se possa definir melhor os benefícios deste nutriente para a cultura.

Palavras chave: *Xanthomonas axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov.. Controle alternativo de doenças. Silício.

ABSTRACT

In the last decades, the area of planted forests has been expanding in Brazil and the high productivity of eucalyptus observed today is the result of good management practices, genetic improvement and good adaptation of the genus to the country's environmental conditions. However, there are currently several diseases of fungal and bacterial origin that affect the eucalyptus culture in nursery and field conditions causing damage and losses to production. Among them, the bacterial leaf blight, caused predominantly by the species *Xanthomonas axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov. stands out as one of the major diseases in eucalypt under nursery conditions. Proper fertilization during plants growth in nurseries is one of the crucial factors to produce healthy and vigorous cuttings, additionally playing side effects in disease resistance. Silicon, although not considered as an essential nutrient for plants, it stands due to its beneficial effect in the control of several diseases caused by plant pathogens. Thus, considering the need for new recommendations on the management of bacterial leaf blight on eucalypt in addition to the lack of studies of silicon potential to eucalypt pathogens control, the aim of this study was to evaluate the effects of silicon in the form of calcium-magnesium silicate in bacterial leaf blight on eucalypt control and on the development of *Eucalyptus* spp. cuttings. Approximately 70 day-old *Eucalyptus* spp. cuttings were transplants for 2 l plastic bags containing the commercial substrate supplemented with the following concentration of calcium-magnesium silicate: T1: 0 mg/dm³; T2: 250 mg/dm³; T3: 500 mg/dm³ -1; T4: 1000 mg/dm³ and T5: 2000 mg/dm³. Sixty days after transplanting, cuttings were inoculated with a bacterial strain suspension. At 10, 20 and 30 days after inoculation, the severity of the disease was determined and the number of leaves of each plant was counted. Diameter at the collar, plant height from the substrate level, fresh and dry mass of all cuttings were measured at the end of experiment. The supplementation of different concentrations of calcium-magnesium silicate did not reduce the severity of the disease and there was no significant difference on physical features of the plants under the treatments. The 30 days period for evaluation of disease severity in inoculated eucalyptus cuttings was effective under this study conditions, confirming the effectiveness of the period adopted for evaluation. However, further studies involving the nutrient and dicot plants, especially eucalypt, are necessary for a better understand of the benefits of this nutrient to the culture.

Keywords: *Xanthomonas axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov.. Alternative diseases control. Silicon.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	SILVICULTURA CLONAL DO EUCALIPTO	14
2.2	MANCHA BACTERIANA DO EUCALIPTO	14
2.3	USO DA NUTRIÇÃO MINERAL NO CONTROLE DE DOENÇAS EM PLANTAS	16
2.4	O SILÍCIO E SEU EFEITO NAS PLANTAS.....	17
2.5	SILÍCIO NO CONTROLE DE DOENÇAS CAUSADAS POR FITOPATÓGENOS	20
3	METODOLOGIA	21
3.1	INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS	21
3.2	PREPARO DO INÓCULO E INOCULAÇÃO	22
3.3	AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DAS MUDAS.....	23
3.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
5	CONCLUSÃO.....	33
6	REFERÊNCIAS	34
	APÊNDICE	43

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas a área de florestas plantadas vem se expandindo, ocupando atualmente 9,0 milhões de hectares, sendo que destes, 6,97 milhões correspondem a áreas plantadas com espécies de *Eucalyptus* (IBÁ, 2020). O crescente interesse pela eucaliptocultura no Brasil se deve a algumas características vantajosas do gênero, como rápido crescimento, boa capacidade de regeneração após o corte e uso múltiplo de sua madeira (SILVA, 2001).

A elevada produtividade do eucalipto observada atualmente no Brasil é resultado, além da adoção de boas práticas de manejo, do melhoramento genético e da boa adaptação do gênero às condições ambientais, e é reconhecida mundialmente, considerando o volume de madeira produzido por área ao ano e por um dos menores ciclos entre o plantio e a colheita do mundo (IBÁ, 2020). Além da produção de papel e celulose, o eucalipto também é fonte de carvão vegetal na geração de energia, de madeira sólida usada em móveis, pisos, revestimentos e outras aplicações na construção civil, óleos essenciais (BRACELPA, 2010), além de serem empregados por proprietários independentes e pequenos e médios produtores de programas de fomento florestal, que investem em plantios para a comercialização de madeira in natura (IBÁ, 2017).

Existem, atualmente, várias doenças de origem fúngica e bacteriana que acometem a cultura do eucalipto em condições de viveiro e campo (ALFENAS et al., 2009). Entre as doenças bacterianas de importância para a cultura, a mancha bacteriana do eucalipto, causada predominantemente pela espécie *Xanthomonas axonopodis*, a qual foi recentemente reclassificada taxonomicamente como *Xanthomonas axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov. (FERRAZ et al., 2018) é uma das principais doenças em viveiros de produção de mudas (GONÇALVES et al., 2008), podendo causar danos significativos em materiais genéticos suscetíveis sob condições favoráveis. No Brasil, a doença está amplamente distribuída e tem causado perdas expressivas em viveiros, especialmente em regiões e épocas do ano mais quentes, sobretudo quando associada com maior intensidade e frequência de chuvas (MÁFIA et al., 2017).

Entre os anos de 2003 a 2008, a doença causou um prejuízo aproximado de 14,5 milhões de reais devido a perdas de mudas e minicepas em viveiros clonais de eucalipto no Brasil (ALFENAS et al., 2009).

O controle da bacteriose em eucalipto tem sido executado basicamente por práticas de manejo que reduzam as fontes de inóculo e as condições favoráveis à infecção. Dentre essas práticas, incluem-se a eliminação de folhas e plantas doentes, o uso de subirrigação, a propagação de clones suscetíveis em épocas desfavoráveis à infecção, o uso de viveiros com cobertura e a utilização de material propagativo e ferramentas livres do patógeno (ALFENAS et al., 2004). Entre essas medidas, a mais eficiente consiste em evitar o molhamento foliar, prática altamente onerosa por exigir subirrigação por capilaridade e cobertura do viveiro em todas as fases do processo de produção de mudas (SILVA, 2007). Segundo Zauza (2013) os altos níveis de infecção se devem a práticas inadequadas de manejo que facilitam o aumento da densidade do inóculo, pelo manejo inadequado das condições de molhamento e temperatura.

A adubação adequada durante o crescimento das plantas em viveiros é um dos fatores cruciais para a produção de mudas saudáveis e vigorosas, visto que os nutrientes minerais exercem funções específicas no metabolismo vegetal, afetando o seu crescimento e produção (POZZA et al., 2001). No entanto, os nutrientes minerais podem também ter um efeito secundário sobre a resistência das plantas a doenças (MARSCHNER, 1995). A resistência das plantas à infecção por patógenos pode ser aumentada ou diminuída pelo efeito da nutrição mineral sobre a morfologia e anatomia das células epidérmicas e cutícula, por exemplo, além de afetar as propriedades bioquímicas das células (SILVEIRA; HIGASHI, 2003).

Mediante o exposto, verifica-se que o manejo da nutrição pode constituir uma alternativa viável para o controle da bacteriose foliar do eucalipto, dado que os nutrientes minerais têm importantes funções no metabolismo das plantas, influenciando no crescimento e desenvolvimento, na produção (TAIZ; ZEIGER, 2004) e também na incidência e, ou, na severidade de doenças (ZAMBOLIM; VENTURA, 1993).

Entre os diferentes nutrientes minerais envolvidos nas alterações anatômicas e bioquímicas que terão maior ou menor participação na resistência das plantas ao ataque de patógenos, o silício (Si), apesar de não ser considerado um elemento essencial para o crescimento das plantas, vem se destacando devido ao seu efeito benéfico no controle de diversas doenças causadas por fungos (SHETTY et al., 2012; SONG et al., 2016),

bactérias (ANDRADE et al., 2013; ALVES et al., 2015) e vírus (ZELLNER et al., 2011; HOLZ et al., 2014; ELSHARKAWY; MOUSA, 2015).

O silício é um elemento benéfico que desempenha papéis relevantes na fisiologia da planta. Plantas que possuem altas concentrações desse elemento são menos susceptíveis ao ataque de pragas e mais tolerantes a estresses abióticos, como seca, baixas temperaturas, toxidez por metais pesados e salinidade (RIZWAN et al., 2015; ADREES et al., 2017). No entanto, o efeito mais notável do silício ocorre na redução da intensidade de algumas doenças causadas por patógenos biotróficos, hemibiotróficos e necrotróficos (DEBONA et al., 2017).

Com essa perspectiva, e considerando a necessidade de novas recomendações para o manejo da mancha bacteriana do eucalipto que sejam eficazes e gerem menos riscos ao ambiente e aos trabalhadores, somada a falta de estudos sobre o potencial do uso do silício no controle de patógenos que infectam a cultura, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito do silício, na forma de silicato de cálcio e magnésio, no controle da mancha bacteriana do eucalipto, causada por *X. axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov, e no desenvolvimento das mudas de *Eucalyptus* spp. submetidas a adubação silicatada, a fim de fornecer novas informações sobre o assunto e oferecer uma nova medida de controle, que possa ser incorporada aos programas de manejo integrado da doença nos viveiros de produção de eucalipto.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 SILVICULTURA CLONAL DO EUCALIPTO

A produção comercial de mudas de eucalipto no Brasil, na maioria das empresas florestais é realizada basicamente por meio de propagação vegetativa de clones em viveiros de produção de mudas clonais. A técnica da clonagem permite uma melhoria na qualidade e na produtividade das florestas, de forma que são garantidas diversas vantagens, como uniformidade, melhor adaptação dos clones às condições locais e aumento na produtividade (XAVIER; COMÉRCIO, 1996).

Apesar de suas vantagens, viveiros de produção de mudas clonais de eucalipto estão sujeitos à ação de microrganismos fitopatogênicos, devido às suas características de manejo e infraestrutura. A água em abundância e condições de alta umidade relativa do ar, necessárias à produção, somadas à temperaturas amenas a elevadas, proximidade entre mudas e o cultivo contínuo da mesma espécie ou clone, são fatores que predisõem o aparecimento e favorecem o desenvolvimento de doenças de origem biótica (HOPPE; BRUN, 2004).

A água, em especial, além de favorecer o estabelecimento de doenças, atua como um dos principais agentes de disseminação de patógenos (ALFENAS et al., 2009). Por meio da água, patógenos atingem e colonizam os tecidos vegetais e são disseminados pela água de irrigação ou através de respingos de gotas de chuva, sendo as fitobactérias facilmente disseminadas dessa maneira, como a espécie *X. axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov, causadora da mancha bacteriana do eucalipto, uma das principais enfermidades em viveiros de produção de mudas de eucalipto (FERRAZ et al., 2018; GONÇALVES et al., 2008).

2.2 MANCHA BACTERIANA DO EUCALIPTO

A cultura do eucalipto é alvo de várias doenças de origem fúngica e bacteriana, que ocorrem em condições de viveiro e campo, causando sérios prejuízos à produção e reduzindo a produtividade das florestas (ALFENAS et. al, 2009). Entre as principais doenças de importância para a cultura, a mancha bacteriana, pode causar danos

significativos em materiais genéticos susceptíveis, sob condições favoráveis, em viveiros de produção de mudas (GONÇALVES et al., 2008).

Entre os anos de 2003 a 2008, a bacteriose causou um prejuízo aproximado de 14,5 milhões de reais devido a perdas de mudas e minicepas clonais em vários viveiros clonais de eucalipto no Brasil (ALFENAS et al., 2009).

Como diferentes espécies tem sido associadas a mancha bacteriana do eucalipto em vários países, Ferraz et al. (2018) desenvolveu recentemente um estudo em que ao reanalisar isolados bacterianos obtidos de mudas de eucalipto de diferentes regiões geográficas no Brasil apresentando sintomas de mancha bacteriana, por meio de testes morfológicos, fisiológicos, bioquímicos, moleculares e de patogenicidade, propuseram a alocação dos isolados patogênicos aos gêneros *Eucalyptus* spp. e *Corymbia* spp. em um novo patovar, *X. axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov.

A espécie bacteriana *X. axonopodis* possui parede celular gram-negativa, formato baciliforme e tamanho médio entre 0-5 x 1-2 µm. As células bacterianas ocorrem individualmente, e se movem através de um único flagelo polar, podendo ocasionalmente, ocorrerem em pares ou em pequenas cadeias. São aeróbias estritas, oxidase negativa, catalase e urease positivas e não induzem tumores (ROMEIRO, 2005) formam colônias amarelas e mucóides em meio YDC, produzem ácidos a partir de arabinose e crescem à temperatura de 35°C (TAYLOR et al., 1981; SCHAAD et al., 2001).

A sintomatologia da enfermidade, nas fases iniciais de infecção, é caracterizada por manchas foliares de formato angular, encharcadas e translúcidas (anasarca), podendo estar distribuídas de forma aleatória sobre o limbo foliar entre as nervuras, concentradas ao longo da nervura principal ou nas margens da folha. Com o progresso da doença, as lesões tornam-se necróticas e ressecadas, de coloração palha a marrom-clara, podendo conter orifícios no núcleo da lesão ou apresentar recorte nas áreas do limbo, em consequência do aborto da área necrosada (GONÇALVES, 2003).

As manchas foliares progridem para uma intensa desfolha precoce das mudas, acarretando na diminuição da área fotossintética da planta, e conseqüentemente redução de seu crescimento, obtendo assim, mudas debilitadas e inaptas para o plantio no campo (NEVES, 2007).

Sua sintomatologia pode ser confundida com manchas causadas por *Kirramyces epicoccoides* e *Calonectria* sp., sendo que seu diagnóstico preciso requer exame

laboratorial. Ao se realizar uma análise em laboratório, observa-se ao microscópio ótico, através do teste de exsudação em gota, a liberação de pus bacteriano, composto por células bacterianas, que emanam a partir dos tecidos lesionados (ALFENAS et al., 2009).

Nos viveiros clonais de eucalipto, a doença incide mais intensamente as mudas irrigadas por aspersão nas fases de crescimento e rustificação à céu aberto, cuja presença de água livre sobre as folhas favorece a dispersão, multiplicação e penetração do patógeno. A água livre é indispensável para a movimentação e penetração de bactérias fitopatogênicas, em virtude de sua penetração ocorrer principalmente por meio de aberturas naturais, como hidatódios e estômatos, ou ferimentos presentes no limbo foliar (ROMEIRO, 1995; BEATTIE et al., 1999). Quanto a suscetibilidade dos tecidos vegetais, observa-se que existe uma variação, sendo que folhas velhas são mais suscetíveis à bacteriose foliar (NEVES et al., 2005).

O controle da bacteriose na eucaliptocultura tem sido executado basicamente por práticas de manejo integrado que reduzem as fontes de inóculo e as condições favoráveis à infecção. Dentre tais práticas, incluem-se a eliminação de folhas e plantas doentes, o uso de irrigação por gotejamento, a propagação de clones suscetíveis em épocas desfavoráveis à infecção, o uso de viveiros cobertos e a utilização de material propagativo e ferramentas livres do patógeno (ALFENAS et al., 2009). Entre essas medidas, a mais eficiente consiste em evitar o molhamento foliar, que muitas vezes se torna muito dispendioso por exigir subirrigação por capilaridade e cobertura do viveiro em todas as fases da produção de mudas (SILVA, 2007).

2.3 USO DA NUTRIÇÃO MINERAL NO CONTROLE DE DOENÇAS EM PLANTAS

A adubação adequada durante o crescimento das plantas em viveiros é um dos fatores cruciais para a produção de mudas saudáveis e vigorosas, visto que os nutrientes minerais exercem funções específicas no metabolismo vegetal, afetando o seu crescimento e produção (POZZA et al., 2001). Nas plantas, deficiências e desequilíbrios nutricionais provocam mudanças morfológicas e bioquímicas, que podem tornar certos materiais genéticos mais suscetíveis à infecção por patógenos (SILVEIRA; HIGASHI, 2003).

No entanto, a nutrição mineral pode também ter um efeito secundário sobre a resistência das plantas ao ataque de pragas e doenças (MARSCHNER, 1995). Acredita-se, assim, que o uso eficiente de fertilizantes aliado à resistência dos materiais genéticos, podem reduzir o nível da severidade e da incidência das doenças em eucalipto (SILVEIRA; HIGASHI, 2003).

A resistência das plantas às pragas e doenças pode ser diminuída ou ampliada através do efeito de certos nutrientes minerais sobre as estruturas anatômicas e as propriedades bioquímicas das células vegetais. Em relação às mudanças estruturais, a lignificação e o acúmulo de sílica nas paredes das células constituem-se em uma efetiva barreira física contra a penetração de fitopatógenos, dessa forma, ao ocorrer, por exemplo, formação de células epidérmicas e cutículas mais finas, e paredes celulares com menor grau de silificação, suberização e lignificação, a resistência da planta é reduzida (SILVEIRA; HIGASHI, 2003).

A nutrição mineral pode afetar as propriedades bioquímicas das células, com a redução ou aumento da produção de compostos fenólicos, que atuam como inibidores do desenvolvimento de doenças, ou com o acúmulo de compostos orgânicos de baixo peso molecular, como glicose, sacarose e alguns aminoácidos, que são resultado da maior atividade de enzimas decompositoras (ELLET, 1973; MARSCHNER, 1995). Esses processos resultam nas principais estratégias de resistência estrutural das plantas às doenças.

Entre os diferentes nutrientes minerais envolvidos nas alterações anatômicas e bioquímicas que terão maior ou menor participação na resistência das plantas ao ataque de patógenos, o silício (Si), apesar de não ser considerado um elemento essencial para o crescimento das plantas, vem se destacando em diversos estudos devido ao seu efeito benéfico na redução da incidência e severidade de várias doenças causadas por fungos (WORDELL FILHO et al., 2013; SHETTY et al., 2012; SONG et al., 2016), bactérias (ANDRADE et al., 2013; ALVES et al., 2015) e vírus (ZELLNER et al., 2011; HOLZ et al. 2014; ELSHARKAWY; MOUSA, 2015).

2.4 O SILÍCIO E SEU EFEITO NAS PLANTAS

O silício (Si), segundo elemento mais abundante da crosta terrestre, tem se mostrado como um importante nutriente para as plantas. Apesar de não ser considerado

um elemento essencial, por não atender aos critérios diretos e indiretos de essencialidade, apresenta uma série de efeitos benéficos, como aumento do crescimento e produção (JONES; HANDRECK, 1967).

Este elemento está presente em consideráveis quantidades na maioria dos solos, encontrando-se naturalmente na forma de óxido de silício. Sua presença é mais significativa em solos jovens, como os Cambissolos, e sua origem está diretamente relacionada ao grau de intemperismo dos mesmos (MENECALE et al., 2015).

Os agregados siderúrgicos são resíduos da metalurgia do ferro-gusa e aço que, devido à sua basicidade, podem ser utilizados como corretivos de solo, sendo também excelentes fontes de Si e outros nutrientes, pois são constituídos principalmente de silicato de cálcio e magnésio. Esses subprodutos comportam-se de maneira similar aos carbonatos no solo, que são capazes de elevar o pH, neutralizar o alumínio trocável e outros elementos tóxicos, além de aumentar a disponibilidade de silício às plantas (NOLA et al., 2004).

A movimentação do silício na planta depende de sua concentração na solução do solo e da espécie vegetal (MARSCHNER, 1995). O silício absorvido pelas plantas tem tendência natural a se polimerizar associando-se a compostos orgânicos como proteínas, polissacarídeos e lignina (EPSTEIN, 1994). Sua distribuição 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 (KORNDORFER et al., 1999).

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 SiO₂ na matéria seca da parte aérea, serem classificadas em três grupos: acumuladoras, com teor elevado de silício; b) não acumuladoras, com baixo teor de Si, mesmo com altos níveis no meio, indicando um mecanismo de exclusão, como se comporta a maioria da dicotiledôneas; c) intermediárias, com quantidade considerável de Si, quando a concentração no meio é alta.

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 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 *E. grandis*, cultivadas em

solos dos tipos Latossolo Vermelho distrófico e Cambissolo Háptico 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 em sua absorção, sendo que a maior parte deste fica retido nas raízes.

O silício é absorvido pelas raízes das plantas na forma neutra, como ácido monossilícico (H_4SiO_4), por processo passivo ou ativo, através de transportadores de membrana específicos para este fim. O transporte de ácido monossilícico é realizado via xilema e pode ser regulado pela transpiração ou por processo ativo (RODRIGUES et al., 2011).

O silício é encontrado nas plantas principalmente sob a forma de sílica amorfa hidratada ($SiO_2.nH_2O$) e apenas uma pequena parte (1%) se apresenta na forma iônica (TAKAHASHI, 1996). Após a absorção do ácido monossilícico (H_4SiO_4) o mesmo é depositado como sílica polimerizada (SANTOS, 2017). O ácido monossilícico, depois de absorvido pelas plantas, é depositado na forma de sílica principalmente nas paredes das células epidérmicas do caule e das folhas, contribuindo substancialmente para fortalecer a estrutura da planta e aumentar sua resistência ao ataque de pragas e doenças (RODRIGUES et al., 2011), sendo encontrada em menores quantidades nas sementes e raízes (SANGSTER et al., 2001).

A sílica hidratada pode estar ainda 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 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 (KORNDORFER, 2014).

Epstein (2001) cita 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. Segundo Pinto et al. (2009), a adição do Si ameniza o efeito negativo de metais pesados, como por exemplo, o excesso de zinco (Zn) sobre o

crescimento de plantas de *E. urophylla* e proporciona uma utilização mais eficiente de P, Ca, Mg e S por estas plantas.

2.5 SILÍCIO NO CONTROLE DE DOENÇAS CAUSADAS POR FITOPATÓGENOS

O silício é capaz de proporcionar mudanças anatômicas nos tecidos, como células epidérmicas mais grossas e deposição de sílica nas células da camada epidérmica, proporcionando resistência física à penetração dos patógenos. Além da função estrutural, o silício exerce a função de ativação mais rápida e intensiva dos mecanismos de defesa (SILVEIRA; HIGASHI, 2003).

Ainda segundo os autores, altas concentrações de silício produzem maior silificação e lignificação dos tecidos e com a presença de compostos organosilicatados há um aumento da estabilidade da parede celular contra a ação enzimática de patógenos e maior síntese de compostos fenólicos, como as fitoalexinas.

Segundo Shetty et al. (2012) a aplicação de silício resultou em redução significativa da infecção e do crescimento de oídio (*Podosphaera pannosa*) em roseiras, confirmando a eficácia deste elemento na resistência contra este patógeno.

Aplicações de Si ao substrato reduziram a severidade da murcha bacteriana, causada por *Ralstonia solanacearum*, em experimentos com pimenta doce em casa de vegetação. Foi observado aumento na biomassa fresca de folhas e raízes, aumento da concentração de proteínas, acúmulo de silício nas brotações, aumento da absorção de Ca^{2+} e sinalização para a produção de enzimas de defesa, atuando indiretamente na resistência da planta ao patógeno. A ação direta na redução da doença ocorreu com a deposição do Si nos tecidos vegetais, prevenindo a colonização de *R. solanacearum* nos tecidos vasculares (Alves et al., 2015).

Em pepino, Elsharkawy e Mousa (2015) observaram que tratamentos com sílica (SiO_2) juntamente com o fungo *Penicillium simplicissimum* induziram a expressão de genes relacionados a patogenicidade, ativando o sistema de resistência sistêmica da planta contra a infecção pelo vírus PRSV (*Papaya ring spot virus*).

Song e colaboradores (2016) verificaram que a adubação com silício aumentou a resistência das plantas de arroz à bactéria *Xanthomonas oryzae pv. oryzae* em condições

hidropônicas e cultivadas no solo. O aumento da absorção de Si levou ao aumento da síntese de compostos fenólicos solúveis totais e lignina, atividades das enzimas fenilalanina amônia-liase (PAL) e polifenoloxidase (PPO), e regulação de genes de defesa, desempenhando um papel fisiológico ativo no condicionamento e aumento da resistência à ferrugem bacteriana do arroz.

O potencial do uso do silício no controle de doenças, em especial relacionado à manchas foliares causadas pelo gênero *Xanthomonas* já foi observado também em diversos outros patossistemas, como *X. axonopodis* pv. *passiflorae* em maracujá (BRANCAGLIONE et al., 2009), *X. citri* subsp. *malvacearum* em algodão (OLIVEIRA et al., 2012), as espécies *X. euvesicatoria*, *X. vesicatoria*, *X. gardneri* e *X. perforans* em tomate (ANJOS et al., 2014), *X. campestris* pv. *musacearum* em banana (MBURU et al., 2016), *Xanthomonas campestris* pv. *carotae* em cenoura (ZAKI et al., 2019) e ainda em outros trabalhos com *X. oryzae* pv. *oryzae* em arroz (CHANG et al., 2002; SHETTY et al., 2012; SONG et al., 2016).

Apesar dos muitos resultados relacionados ao aumento da resistência de plantas à doenças, alguns autores como Wordell Filho e colaboradores (2013) verificaram que o uso de silicato de potássio não se fez eficiente na redução da severidade da ferrugem da folha, causada por *Puccinia triticina*, e da mancha amarela, causada por *Drechslera triticirepentis*, em cultivares de trigo.

3 METODOLOGIA

3.1 INSTALAÇÃO DOS EXPERIMENTOS

Os ensaios foram conduzidos no viveiro de mudas florestais do Instituto Federal de Minas Gerais – *campus* São João Evangelista (IFMG-SJE), localizado na cidade de São João Evangelista - MG, a qual situa-se a uma altitude média de 689 metros, latitude sul de 18° 32' e longitude oeste de 42° 45'.

Para a realização do experimento foram utilizadas mudas de *Eucalyptus* spp. com aproximadamente 70 dias de idade, doadas pela empresa Celulose Nipo Brasileira - CENIBRA. As mudas foram mantidas em tubetes, acondicionadas em bancadas em casa

de vegetação com irrigação por aspersão e sem controle de temperatura e umidade até a data de transplantio.

Como fonte de silício utilizou-se o silicato de cálcio e magnésio (AgroSilício® granulado, Harsco Minerais, Timóteo, MG, Brasil) composto de 10,5% de Si, 25% de Ca e 6% de Mg. O silicato foi incorporado a um substrato comercial nas doses referentes a cada tratamento e distribuiu-se 1,5 L de cada mistura em sacolas plásticas com capacidade de 2 L.

As mudas foram transplantadas para as sacolas contendo o substrato e as doses definidas nos tratamentos e permaneceram em bancadas a céu aberto, com irrigação por aspersão, até o momento da inoculação.

3.2 PREPARO DO INÓCULO E INOCULAÇÃO

Utilizou-se no ensaio, um isolado de *X. axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov, obtido a partir de folhas doentes de eucalipto do sul da Bahia (GONÇALVES et al., 2003) e disponibilizado pelo Laboratório de Patologia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa. O preparo do inóculo e a inoculação foram realizadas de acordo com o descrito por Neves et al. (2014). Semeou-se a bactéria em placas de Petri contendo o meio de cultura LB (Luria Bertani) e incubou-se a mesma em B.O.D. a 28°C por 48h. Para a produção do inóculo, adicionou-se solução salina (NaCl 0,85%) às culturas plaqueadas e essas foram raspadas com o auxílio de uma alça de Drigalski. A suspensão bacteriana obtida foi ajustada em espectrofotômetro para a $OD_{540\text{ nm}} = 0,1$, equivalente à concentração aproximada de 1×10^8 UFC (unidades formadoras de colônia)/mL.

As mudas transplantadas foram inoculadas com a bactéria 60 dias após o transplantio. Antes da inoculação, incubou-se as mudas em câmara úmida por 24h a temperatura ambiente, envolvendo cada muda individualmente com sacolas plásticas transparentes. A inoculação foi realizada através de atomização da suspensão bacteriana, com o auxílio de um pulverizador manual com capacidade de 1,5 L. Aplicou-se a suspensão uniformemente em ambas as faces das folhas sem atingir o ponto de escorrimento superficial e as mudas foram novamente incubadas em câmara úmida por mais 24h.

Depois de realizada a inoculação, as plantas permaneceram em bancadas a céu aberto sob irrigação por aspersão por 30 dias. Aos 10, 20 e 30 dias após a inoculação

avaliou-se a severidade da doença por meio de análise visual *in planta* de quatro folhas completamente expandidas a partir do colo das mudas utilizando-se uma escala diagramática específica para o patossistema, disponível em Alfenas et al. (2009) e pela contagem do número total de folhas de cada planta, a fim de se avaliar a possível desfolha causada pela doença.

3.3 AVALIAÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DAS MUDAS

Foram realizadas medições do diâmetro da base do coleto e da altura total da parte aérea de todas as mudas (30 dias após a inoculação bacteriana) para se obter a altura e diâmetro, parciais e finais. As mudas foram cortadas na base do coleto e acondicionadas separadamente em sacos de papel de acordo com cada tratamento. Obteve-se a massa fresca da parte aérea pela pesagem em balança de precisão e a massa seca da mesma foi aferida após a secagem em estufa a 36° C por 72h, até atingir peso constante e determinado em balança de precisão. Para análise de sua composição química, foram retiradas amostras do substrato de cada tratamento.

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A montagem do ensaio foi feita em delineamento em blocos casualizados (DBC), com cinco tratamentos referentes as seguintes doses de silicato de cálcio e magnésio: T1: 0 mg/dm³; T2: 250 mg/dm³; T3: 500 mg/dm³ ⁻¹; T4: 1000 mg/dm³ e T5: 2000 mg/dm³, cinco repetições (blocos) e três plantas por parcela.

Para a avaliação do efeito do silicato na resistência das plantas e no crescimento das mudas, os dados foram submetidos aos testes de normalidade segundo Shapiro-Wilk, homogeneidade de variâncias por Bartlett, autocorrelação por Durbin-Watson e aditividade por Tukey. Realizaram-se análises de variância (teste F) e de box plot.

Para a avaliação de comportamento temporal do percentual de severidade, efetuou-se a análise de regressão não linear através do método iterativo de Levenberg-Marquardt. Para cada tratamento, foi ajustado o modelo logístico de três parâmetros utilizando o tempo (dias) como variável preditora; $Y = \alpha(1 + \beta e^{-\gamma X})^{-1}$, em que α , β

e γ são parâmetros do modelo logístico. Calcularam-se a média dos Desvios Absolutos (MDA), Raiz Quadrada do Erro Médio (RQEM) e coeficiente de correlação (r) entre valores observados e estimados. A similaridade do comportamento das curvas de severidade oriundas de cada tratamento foi avaliada pela sobreposição de margens de confiança, construídas ao nível de significância de 5%. Uma equação generalista foi obtida a partir das informações de severidade de todos os tratamentos. Calcularam-se, por meio de derivação, os dias e severidade correspondentes à tangente a parte inferior de curva (passando pela origem, P1), ponto de inflexão (P2) e tangente a parte inferior de curva (P3).

Para diagnóstico de efeito estatístico, empregou-se 5% de significância em todas as análises. Estas foram efetuadas com auxílio dos softwares Curve Expert 1.4 e R versão 3.5.2 (R CORE TEAM, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As premissas de normalidade, homogeneidade de variâncias, independência de resíduos e aditividade foram atendidas. Os coeficientes de variação foram baixos e evidenciaram a precisão experimental.

Conforme pode ser visualizado na Tabela 1. a qual apresenta um resumo da análise de variância, a aplicação de diferentes doses de silicato de cálcio e magnésio não proporcionou redução da mancha bacteriana causada por *X. axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov em mudas de *Eucalyptus* spp., avaliadas através dos atributos severidade da doença e número total de folhas por planta.

Tabela 1. Resumo da análise de variação dos atributos avaliados.

F.V.	G.L.	----- Q.M. -----					
		MF	MS	H	D	NF	Severidade
Blocos	4	63,59	4,79	5,36	0,15	64,80	187,83
Tratamentos	4	51,94 ^{ns}	5,08 ^{ns}	1,74 ^{ns}	0,46 ^{ns}	135,26 ^{ns}	19,64 ^{ns}
Resíduo	16	88,24	8,89	1,99	0,36	49,81	19,81
CV _{exp} (%)		17,05	16,07	3,71	11,22	10,29	35,70

^{ns}não significativo a 5% pelo teste F. CV_{exp} = coeficiente de variação experimental. MF = massa fresca. MS = massa seca. H= altura. D = diâmetro. NF = número de folhas.

A severidade da doença, analisada visualmente com o auxílio da escala diagramática, se manteve com medianas entre 7 e 14%, trinta dias após a inoculação, sendo que o tratamento testemunha (T1), sem adição de silicato ao substrato, obteve mediana de 7% de severidade. O caractere número total de folhas também não apresentou diferença estatística entre os tratamentos ao final do período de avaliação, com resultados de mediana variando entre 60 a 74 folhas por planta (Figura 1).

Em relação aos atributos físicos, os resultados obtidos também não tiveram diferença estatística de acordo as análises realizadas. A mediana obtida entre os tratamentos para a variável massa fresca variou em aproximadamente 50,0 a 59,0 g ao final do experimento, apresentando a testemunha (T1) um valor próximo a 56,0 g. Já para a massa seca, essa variação foi de 17,0 a 21,0 g entre os cinco tratamentos. Para o atributo altura, a mediana variou de 37,0 cm nos tratamentos T3, T4 e T5 a 39,0 cm nos

tratamentos T1 e T2. Na avaliação do diâmetro das mudas, o valor mediano obtido variou entre 5,0 e 6,4 mm, aproximadamente (Figura 1).

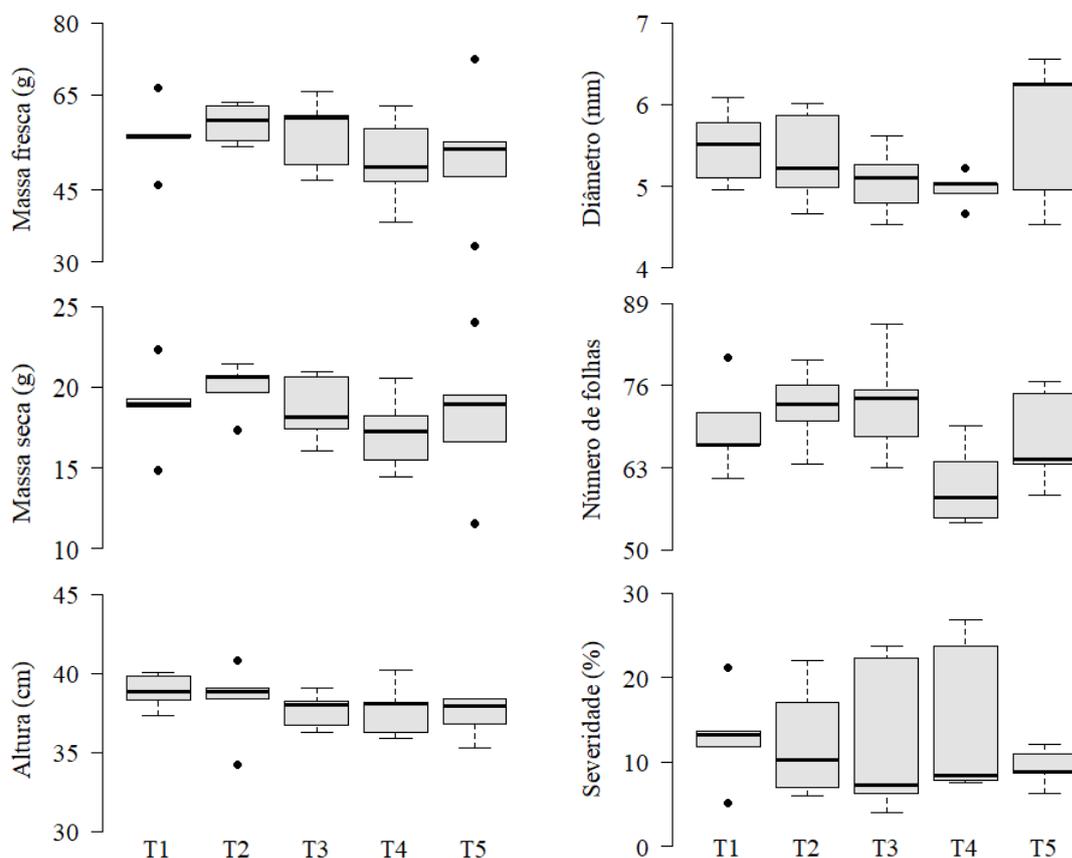


Figura 1. Box plot referente as avaliações de altura (cm), diâmetro (mm), massa fresca e massa seca (g/ unidade experimental) avaliados aos 90 dias após o transplante das mudas de *Eucalyptus* spp. para sacolas contendo os respectivos tratamentos; do número de folhas (n) e da severidade da doença (%) avaliados aos 10, 20 e 30 dias após a inoculação de *Xanthomonas axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov.

Adicionalmente, definiram-se relações funcionais para a estimativa da severidade em função do tempo, em dias (Tabela 2). Como esperado, a assíntota, representada pelo parâmetro “ α ”, foi positiva em todos os ajustes realizados com o modelo logístico. A modelagem via regressão apresentou poucos desvios, com baixos valores de MDA e RQEM. A precisão das estimativas aumentou com o grau de associação entre as variáveis resposta e preditoras.

Tabela 2. Coeficientes e qualidade de ajuste do modelo logístico para a estimativa do percentual de severidade em função do tempo (dias).

Tratamentos	α	β	γ	MDA	RQEM	r
T1	18,155490	36,932390	0,161596	1,50	2,74	0,88*
T2	21,513500	53,640340	0,153454	2,11	3,29	0,83*
T3	14,166400	33,850460	0,202441	3,30	4,84	0,71*
T4	25,763420	51,427860	0,151825	3,03	4,58	0,78*
T5	12,635700	21,634550	0,147151	1,03	1,36	0,93*
Generalista	17,196320	35,715270	0,162258	2,24	3,73	0,79*

*significativo a 5% pelo teste *t*. MDA = média dos desvios absolutos. RQEM = raiz quadrada do erro médio. r = coeficiente de correlação de Pearson.

Verificou-se sobreposição de margens de confiança entre as curvas geradas para a estimativa da severidade dos tratamentos (Figura 2), sendo obtida uma equação generalista. O período de avaliação da severidade da doença foi dividido em três fases. P1: ponto em que a aceleração da severidade é intensificada, que ocorre aproximadamente aos 14 dias, com uma estimativa de severidade de 3,63%; P2: ponto de máxima aceleração da severidade, com 8,6% de severidade estimada, que ocorre aos 22 dias aproximadamente; e P3: ponto em que a aceleração da severidade se estabiliza, que ocorre aproximadamente aos 30 dias, com severidade de 13,56%, confirmando a efetividade do período adotado para avaliação dos sintomas após a inoculação.

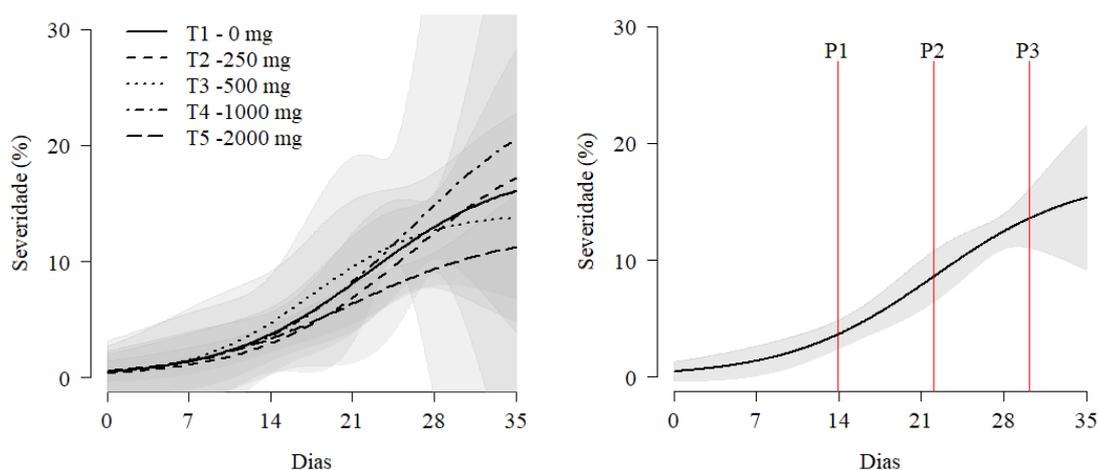


Figura 2. Representação gráfica das curvas de severidade para diferentes tratamentos à esquerda e generalista, à direita. P1 = tangente a parte inferior de curva; P2 = ponto de inflexão de curva e; P3 = tangente a parte superior de curva.

O efeito do uso do silício no aumento da resistência a doenças já foi comprovado para vários patossistemas como *Cercospora coffeicola* em café (SANTOS et al., 2005), *Botrytis cinérea* e *Mycosphaerella fragaria* em morango (KOWAL et al., 2020), *P. pannosa* (*Oidium eucalypti*) em eucalipto (ROSA, 2010; SCHULTZ et al., 2012). No entanto, não foi possível observar algum tipo de redução da mancha bacteriana do eucalipto com a realização desse trabalho.

Em trabalho realizado por Silva e colaboradores (2019) em que avaliou-se a fitossanidade e qualidade de mudas de *E. grandis* X *E. urophylla* em viveiro concluiu-se que a aplicação foliar de diferentes doses de produto contendo fosfito e silício não foram eficientes na redução da severidade dos sintomas causados por *Xanthomonas* spp.

Em ensaio realizado por Caiafa et al. (2019) em que se avaliou a severidade do oídio em mini-estacas de eucalipto suscetíveis ao patógeno, por meio da aplicação de fertirrigação de doses crescentes de silício, concluiu-se que não houve alteração da severidade da doença com a utilização e com o aumento das concentrações de Si, corroborando com os resultados obtidos nesse trabalho. Os autores defendem que para algumas plantas, especialmente aquelas consideradas não acumuladoras de silício, tal como eucalipto, os benefícios deste elemento ainda não são bem definidos, e dependem de mais estudos aplicados.

Para Carvalho et al. (2003) o eucalipto não é uma planta acumuladora de Si embora seja responsiva em sua absorção, e afirma, em trabalho realizado com *E. grandis*, que a maior parte deste elemento fica retido nas raízes. A retenção do mesmo nas raízes, semelhantemente foi relatado para outra dicotiledônea, o tomateiro que, segundo Okuda e Takahashi (1964), acumula o elemento preferencialmente nas raízes, em qualquer estágio vegetativo.

Em estudo desenvolvido por Souza e colaboradores (2017) verificou-se que o uso de diferentes doses de silício não foi eficiente para o crescimento de mudas de *E. grandis* X *E. urophylla* e este demonstrou baixa eficiência de translocação, indicando que o elemento foi altamente acumulado (75,4% do silício absorvido) na raiz. Para Sangster (1987), a retenção de Si pelo sistema radicular pode constituir estratégia de resistência da planta ao déficit hídrico já que nesses períodos, o sistema radicular do eucalipto utilizaria a água necessária preferencialmente das moléculas de H_4SiO_4 resultantes da hidratação da sílica (SiO_2) depositada nas raízes.

Ma et al. (2006) descreveu o gene *Low silicon rice 1* (LSi1) que controla o acúmulo de silício em arroz, considerada uma planta típica de acúmulo do elemento. Segundo os autores, esse gene pertence à família das aquaporinas e é expresso constitutivamente nas raízes das plantas, localizado na região distal na endoderme e exoderme das raízes laterais.

Dallagnol et al. (2009) em trabalho realizado com arroz, afirma a importância do transporte ativo para a absorção de silício e para efetiva translocação do elemento para a parte aérea. Os autores afirmam que o gene LSi1 nas raízes de cultivares selvagens de arroz, foi responsável pela maior absorção do elemento na parte aérea e maior efetividade no controle da mancha parda, causada pelo fungo *Bipolaris oryzae*, se comparadas às cultivares mutantes. O gene codifica a expressão de proteínas carreadoras responsáveis pelo transporte de silício da raiz para a parte aérea e o transporte é realizado, mesmo em condições de baixa umidade do solo. Em caso da ausência do gene, a planta obedece apenas ao transporte passivo, ou seja, ao fluxo de água pelo xilema, que corresponde ao fenômeno da transpiração das plantas. Espécies que possuem o gene LSi1 absorvem o elemento em maior quantidade devido a absorção acontecer de duas formas: ativa e passiva.

Segundo Rodrigues (2020), o gene LSi1 já foi encontrado em várias culturas de monocotiledôneas, como o arroz (*Oryza sativa*), o trigo (*Triticum aestivum*) e a cavalinha (*Equisetum arvense*). Porém, em plantas dicotiledôneas como a batata (*Solanum lycopersicum*), o tomate (*Solanum tuberosum*) e a arábida (*Arabidopsis thaliana*) o mesmo não ocorreu. Tal fato pode contribuir para confirmar o resultado de vários trabalhos que afirmam que o acúmulo de silício ocorre preferencialmente nas raízes de plantas dicotiledôneas.

Para efeito de resistência a doenças em plantas provocada por patógenos que afetam as folhas, tal como a mancha bacteriana do eucalipto, é necessário que ocorra a translocação do silício das raízes para a parte aérea. O ácido monossilícico após absorvido pelas plantas é depositado na forma de sílica principalmente nas paredes das células epidérmicas do caule e das folhas, contribuindo substancialmente para fortalecer a estrutura da planta e aumentar sua resistência ao ataque de pragas e doenças (RODRIGUES et al., 2011). Caso não haja a translocação do elemento é esperado que ele se acumule nas raízes e não exerça seu papel de proteção da parte aérea. Porém, esse acúmulo pode se tornar uma alternativa viável para o possível controle de doenças que

afetam as raízes das plantas (CARRÉ-MISSIO, 2009) como, por exemplo, as doenças causadas por nematoides.

Com essa perspectiva, e considerando a hipótese da dificuldade de translocação do elemento, é possível que a aplicação via foliar de silício seja uma alternativa para sua efetiva absorção e conseqüentemente possa oferecer efetiva proteção as plantas, como verificado por Pereira et al. (2009) em experimento realizado com cafeeiro. Os resultados deste trabalho indicaram que a aplicação foliar de silicato de potássio (KSi) se mostrou eficiente na redução da severidade da ferrugem causada pelo fungo *Hemileia vastatrix*.

Uma segunda alternativa é apresentada por Ma et al. (2006) que sugere a manipulação genética do gene LSi1 para auxiliar as plantas a acumular mais Si e, portanto, ampliar sua capacidade de superar estresses bióticos e abióticos.

A diferença não significativa entre os resultados obtidos com as análises dos atributos físicos das plantas após a suplementação com silicato de cálcio e magnésio corrobora com o trabalho de Duarte e Coelho (2011) com um clone comercial de *E. grandis* X *E. urophylla*, em que as doses de silício aplicadas na solução nutritiva não interferiram estatisticamente nas variáveis altura e diâmetro, influenciando apenas na absorção de silício pelas mudas de eucalipto.

Carneiro (2006) avaliou a absorção de Si e seu efeito sobre o crescimento em mudas de três espécies de eucalipto em hidroponia. No entanto, não se observou diferença entre os tratamentos contendo maior teor de Si e a testemunha, para o caráter altura, em *E. grandis* e *E. pellita*, e para diâmetro de caule, em *E. grandis*.

Jonas e Handreck (1967) afirmam que plantas dicotiledôneas (classificadas como não-acumuladoras como o eucalipto) possuem um mecanismo que evita a absorção de quantidades elevadas do elemento, e Carvalho et al. (2001) acreditam ser mínimo ou inexistente o papel metabólico do silício no eucalipto e definem que, aparentemente, isso o possa desqualificar como responsável pela produção de matéria seca da parte aérea (MSPA) das plantas.

No entanto, em estudo realizado por Navas e colaboradores (2016) com o objetivo de avaliar o desenvolvimento de mudas de *E. grandis* X *E. urophylla* com a aplicação foliar de ferro e silício, foi verificado incremento em altura 20% superior em relação à testemunha e 23% maior teor desse elemento nas mudas quando utilizada a

dose de 2,6 g/m³ de silício, contrariando dessa forma, os resultados apresentados anteriormente.

Ao analisar os resultados da análise química do substrato, conforme demonstrado no APÊNDICE, observamos que o uso de diferentes doses de silicato de cálcio e magnésio não provocou aumento de pH nos substratos correspondentes aos tratamentos.

Segundo Nola e colaboradores (2004) os agregados siderúrgicos são constituídos principalmente de silicato de cálcio e magnésio que além de neutralizar o alumínio trocável e outros elementos tóxicos e aumentar a disponibilidade de silício às plantas, são capazes também de aumentar o pH do solo.

Segundo Camargos (2005) solos argilosos ou que possuem argila de maior atividade ou ainda, solos com maiores teores de matéria orgânica, possuem maior resistência em alterar o pH quando tratados com ácido ou base. Essa condição é denominada de poder tampão do solo.

Para a Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo e de Tecido Vegetal dos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina – Rolas (1994), solos com teores elevados de alumínio, matéria orgânica e argila requerem maiores quantidades de corretivo, pois esses representam fontes de acidez potencial no solo e de tamponamento do pH.

Levando em consideração o exposto pelos autores, é provável que as causas da inalterabilidade do pH obtida após a aplicação de diferentes doses de silicato de cálcio e magnésio ao substrato podem estar relacionadas ao poder tampão do substrato utilizado, ou ainda, a aplicação de quantidades insuficientes das doses do corretivo.

Gonçalves e Benedetti (2004) afirmam que o uso de calcário visando a correção de pH do solo ou o suprimento de cálcio deve ser feito de forma criteriosa, uma vez que, em alguns solos, uma mudança nos níveis de saturação de bases (V%) para valores acima ou abaixo do nível tecnicamente recomendado (em torno de 50% para o eucalipto) pode afetar a disponibilidade de outros nutrientes e restringir o crescimento da planta.

Rocha e colaboradores (2008) reforçam que valores de V% superiores à 50%, conforme obtidos nesse trabalho, causam redução no crescimento e desequilíbrio nutricional em eucalipto, diminuindo os teores de N e de Mn e aumentando a relação de Ca/Mg nas folhas. No entanto, apesar dos altos valores de V% (79-82%) e da alta

relação de Ca/Mg observadas nas análises dos substratos relacionados aos cinco tratamentos, estes não contribuíram para restringir ou prejudicar o crescimento das mudas de eucalipto.

Diante dos resultados obtidos nesse trabalho e, como exposto por diversos autores que não obtiveram resultados positivos com o uso do silício no controle de doenças e no crescimento e desenvolvimento de plantas, faz-se necessária a realização de mais estudos aplicados envolvendo o elemento e plantas dicotiledôneas, especialmente o eucalipto, para que se possa definir melhor os benefícios deste elemento para a cultura.

5 CONCLUSÃO

A aplicação via substrato de silicato de cálcio e magnésio não foi eficiente no controle da mancha bacteriana causada por *X. axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov. e não acarretou em aumento significativo no desenvolvimento de mudas de *Eucalyptus* spp. nas dosagens utilizadas nesse trabalho.

O período de 30 dias de avaliação da severidade da bacteriose em mudas de *Eucalyptus* spp., após a inoculação, foi comprovado ser suficiente nas condições deste trabalho, não havendo aumento da severidade da doença após esse período, confirmando a efetividade do prazo adotado para avaliação dos sintomas.

6 REFERÊNCIAS

- ADREES, M.; ALI, S.; RIZWAN, M.; ZIA-URREHMAN, M.; IBRAHIM, M. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of heavy metal toxicity in plants: a review. **Ecotoxicol. Environ. Saf.**, v. 97, p. 119-186, 2017.
- ALFENAS, A. C.; ZAUZA, E. A. V.; MÁFIA, R. G.; ASSIS, T. F. **Clonagem e doenças do eucalipto**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.
- ALVES, A. O.; SANTOS, M. M. B.; SOUZA, L. J. N.; SOUZA, E. B.; MARIANO, R. L. R. Use of silicon for reducing the severity of bacterial wilt of sweet pepper. **Journal of Plant Pathology**. v. 97, n. 3, p. 419-429, 2015.
- ANDRADE, C. C. I.; RESENDE, R. S.; RODRIGUES, F. A.; FERRAZ, H. G. M.; MOREIRA, W. R.; OLIVEIRA, J. R.; MARIANO, R. L. R. Silicon reduces bacterial speck development on tomato leaves. **Tropical Plant Pathology**, v. 38, n. 5, p. 436 – 442, 2013.
- ANJOS, T. V.; TEBALDI, N. D.; MOTA, L. C. B. M.; COELHO, L. Silicate sources for the control of tomato bacterial spot (*Xanthomonas spp.*). **Summa Phytopathologica**, v. 40, n. 4, p. 365–367, 2014.
- BEATTIE, G. A.; LINDOW, S. E. Bacterial colonization of leaves: A spectrum of strategies. Mini review. **Phytopatology**, v. 89, n. 5, p. 353-359, 1999.
- BORA, K. C. **Favorabilidade climática da ferrugem do eucalipto no estado do Paraná**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 11.
- 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.
- BRACELPA. **Florestas Plantadas – Eucalipto**. 2010. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/?q=node/136>>. Acesso em: 10/02/2018.

BRANCAGLIONE, P.; SAMPAIO, A. C.; FISCHER, I.; ALMEIDA, A. M.; FUMIS, T. F. Analysis of the efficiency of controlling silicate clay *Xanthomonas axonopodis pv. passiflorae* in vitro and in seedlings of yellow passion fruit contaminated. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 31, n. 3, p. 718–724, 2009.

CAIAFA, K. F.; PAIVA, H. N.; Sartori, L.O. Effect of Different Varieties and Silicon Fertilizer on the Rooting Efficiency and Productivity of Mini-Cuttings and *Powdery Mildew* Disease of Eucalypt. **Journal of Experimental Agriculture International**, n. 41, v. 4, p. 1-12, 2019.

CARNEIRO, M. D. **Absorção e acúmulo de silício e seu efeito sobre o crescimento de espécies de *Eucalyptus***. Dissertação (Monografia) – Curso de Graduação em Agronomia do Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 38 f, 2006.

CARRÉ-MISSIO, V.; RODRIGUES, F. A.; SCHURT, D. A.; PEREIRA, S. C.; OLIVEIRA, M. G. A.; ZAMBOLIM, L. Ineficiência do silício no controle da ferrugem do cafeeiro em solução nutritiva. **Tropical Plant Pathology**, v. 34, n. 6, p. 416-421, 2009.

CARVALHO, R. ; NETO, A. E. F; CURI, N.; RESENDE, A. V. Absorção e translocação de silício em mudas de eucalipto cultivadas em Latossolo e Cambissolo. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, p. 491-500, 2003.

CARVALHO, R.; NETO, A. E. F.; SANTOS, C. D.; FERNANDES, L. A.; CURI, N.; RODRIGUES, D. C. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa de vegetação. **Pesq. Agropec. Bras.**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 557 – 565, 2001.

CHANG, S. J.; TZENG, D. D. S.; LI, C. C. **Effect of silicon nutrient on bacterial blight resistance of rice (*Oryza sativa L.*)**. In: Proceedings of the Second Silicon in Agriculture Conference, Tsuruoka, Yamagata, Japan, 22–26 August 2002. p. 31–33, 2002.

DALLAGNOL, L. J., RODRIGUES, F. A., MIELLI, M. V. B., MA, J. F., AND DATNOFF, L. E. Defective active silicon uptake affects some components of rice resistance to brown spot. **Phytopathology**, v. 99, p. 116-121, 2009.

DEBONA, D.; RODRIGUES, F. A.; DATNOFF, L. E. Silicon's Role in Abiotic and Biotic Plant Stresses. **Annu. Rev. Phytopathol.** v. 55, p. 4.1- 4.23, 2017.

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.

ELLET, C. W. Soil Fertility and disease development. **Better crops with plant food**, v. 57, p. 6-8, 1973.

ELSHARKAWY, M. M.; MOUSA, K. M. Induction of systemic resistance against *Papaya ring spot virus* (PRSV) and its vector *Myzuspersicae* by *Penicillium simplicissimum* GP17-2 and silica (SIO₂) nanopowder. **International Journal of Pest Management**, v. 61, n. 4, p. 353-358, 2015.

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**. Elsevier Science, Netherlands, p. 1-15, 2001.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings Natural Academy Science**, [S. l.], v. 91, p. 11-17, 1994.

FERRAZ, H. G. M.; BADEL, J. L.; GUIMARÃES, L. M. S.; REIS, B. P.; TÓTOLA, M. R.; GONÇALVES, R. C.; ALFENAS, A. C. *Xanthomonas axonopodis* pv. *eucalyptorum* pv. nov. Causing Bacterial Blight on Eucalypt in Brazil. **Plant Pathol J.**, v. 34, n. 4, p. 269-285, 2018.

FERREIRA, F. A. **Patologia Florestal: Principais doenças florestais no Brasil**. Viçosa: SIF, p. 570, 1989.

GONÇALVES, R. C. **Etiologia da mancha bacteriana do eucalipto no Brasil**. Viçosa, UFV, 94. (Tese DS), 2003.

GONÇALVES, R. C.; LAU, D.; OLIVEIRA, J. R.; MAFFIA, L. A.; CASCARDO, J. C. M.; ALFENAS, A. C. Etiology of bacterial leaf blight of *eucalyptus* in Brazil. **Tropical Plant Pathology**, Brasília, v. 33, n. 3, p. 180-188, 2008.

GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba, p. 421, IPEF, 2004.

HOLZ, S.; ZEISE, I.; BARTOSZEWSKI, G.; KNEIPP, J.; KUBE, M.; BUTTNER, C. **Insights into molecular impact of silica on virus infected cucumber cultures**. p.88.

In: Proceedings of the 6th Internacional Conference on Silicon in Agriculture, Stockholm, Sweden, 26-30 August 2014, 205 pp, 2014.

HOPPE, J. M.; BRUN, E. J. **Produção de sementes e mudas florestais**. Santa Maria: Editora, p. 125. (Caderno Didático), 2004.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). 2020. **Relatório Técnico**. São Paulo, 2020.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES (IBÁ). 2017. **Relatório Técnico**. São Paulo, 2017.

JONES, L. H. P.; HANDRECK, K. A. Silica in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, v. 19, p. 107-149, 1967.

KADO, E. I.; HESKETT, M. G. Seletive media for isolation of *Agrobacterium*, *Corynebacterium*, *Erwinia*, *Pseudomonas* and *Xanthomonas*. **Phytopathology**, v. 60, p. 969-976, 1970.

KORNDÖRFER, G. H.; ARANTES, V. A.; CORRÊA, G. F.; SNYDER, G. H. Efeito do silicato de cálcio no teor de silício no solo e na produção de grãos de arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, p. 623-629, 1999.

KORNDÖRFER, G. H. 2014. **Uso do silício na agricultura**. Uberlândia: Grupo de Pesquisa Silício na Agricultura. Disponível em:
<<http://www.dpv24.iciag.ufu.br/silicio/efeitos/efeitos.htm>>. Acesso em: 3 abr. 2018.

KOWAL, A. N.; WURZ, D. A.; FAGHERAZZI, A. F.; RIBEIRO, D. M.; NIZER, M. Aplicação foliar de silício e a redução de ocorrência de doenças fúngicas na cultura do morangueiro. **Rev. Elet. Cient. da UERGS**, v. 6, n. 02, p. 150-154, 2020.

MA, J., TAMAI, K., YAMAJI, N.; MITANI, N.; KONISHI, S.; KATSUHARA, M.; ISHIGURO, M.; MURATA, Y.; YANO, M. A silicon transporter in rice. **Nature**, v. 440, p. 688-691, 2006.

MÁFIA, R. G.; TEIXEIRA, L. P.; FERREIRA, M. A. Produção de mudas de eucalipto sob dois sistemas de irrigação e a ocorrência da bacteriose foliar (*Xanthomonas axonopodis* Vauterin). **Sci. For.**, Piracicaba, v. 45, n. 116, p. 697-704, p. 699, 2017.

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

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.Ed. New York, Academic. p. 888-889, 1995.

MBURU, K.; ORDUOR, R.; MGUTU, A.; TRIPATHI, L. Silicon application enhances resistance to xanthomonas wilt disease in banana. **Plant Pathology**, v. 65, p. 807-818, 2016.

MENEGALE, M.; CASTRO, G. S. A.; MANCUSO, M. A. C. Silício: interação com o sistema solo-planta. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v. 4, n. especial, p. 435-454, 2015.

NAVAS, R.; NUNES, J.M.C.; JÚNIOR, J.B.V. Aplicação de ferro e silício na produção de mudas de eucalipto. **Revista Agrarian**, Dourados, v. 9, n. 32, p. 137-136, 2016.

NETO, P. N. S.; ZAMBOLIM, L.; SOUZA, A. F.; RODRIGUES, F. A.; FONTES, L. F. P.; LOPES, U. P.; DUARTE, H. S. S. **Efeito da aplicação foliar de silicato de potássio no controle da ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. Et Br.)**. In: Congresso paulista de fitopatologia, Jaboticabal. Anais, Summa Phytopathologica supplement. p. 51, 2007.

NEVES, D. A.; LAU, D.; SILVA, R. R.; ROSADO, C. C. G.; ALFENAS, A. C. **Componentes da resistência a *Xanthomonas axonopodis* em genótipos de *Eucalyptus***. In: XXXVIII Congresso Brasileiro de Fitopatologia, Brasília, DF. Fitopatologia Brasileira. 30:S58, 2005.

NEVES, D. A. **Condições favoráveis à mancha foliar causada por *Xanthomonas axonopodis* em Eucalipto**. Viçosa, UFV, (Tese DS), 2007.

NOLLA, A.; KORNDÖRFER, G. H.; ARRUDA, D. G. **Eficiência de silicato de cálcio e calcário no controle de *Cercospora sojina* na cultura da soja**. In: Simpósio sobre silício na agricultura. 3., 2004, Uberlândia. Resumos expandidos. Uberlândia: Grupo de pesquisa silício na agricultura.(CD ROOM), 2004.

OKUDA, A.; TAKAHASHI, E. **The role of silicon**. The mineral nutrition of the rice plant. Proceedings Symposium International Rice Research Institute, [S.l.], p. 123-146, 1964.

OLIVEIRA, J. C.; ALBUQUERQUE, G. M. R.; MARIANO, R. L. R.; GONDIM, D. M. F.; OLIVEIRA, J. T. A.; SOUZA, E. B. Reduction of the severity of angular leaf spot of cotton mediated by silicon. **Journal of Plant Pathology**, v. 94, n. 2, p. 297–304, 2012.

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

POZZA, A. A. A.; MARTINEZ, H. E. P.; CAIXETA, S. L.; CARDOSO, A. A.; ZAMBOLIM, L.; POZZA, E. A. Influência da nutrição mineral na intensidade da mancha-de-olho-pardo em mudas de cafeeiro. **Pesq.agropec. bras.**, Brasília, v. 36, n. 1, p. 53-60, 2001.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. 2018.

RESENDE, R. R.; RODRIGUES, F. A.; SOARES, J. M.; CASELA, C. R. Influence of silicon on some components of resistance to anthracnose in susceptible and resistance sorghum lines. **European Journal of Plant Pathology**, v. 124, p. 533-541, 2009.

RIZWAN, M.; ALI, S.; IBRAHIM, M.; FARID, M.; ADREES, M. Mechanisms of silicon-mediated alleviation of drought and salt stress in plants: a review. **Environ. Sci. Pollut. Res.**, v. 31, n. 22, p. 15416, 2015.

ROCHA, J. B. O.; POZZA, A. A. A.; CARVALHO, J. G.; SILVA, C. A.; CURI, N. Efeito da calagem na nutrição mineral e no crescimento inicial do eucalipto a campo em Latossolo húmico da Zona da Mata (MG). **Sci. For., Piracicaba**, v. 36, n. 80, p. 255-263, 2008.

RODRIGUES, F. A. **Silício no manejo integrado de doenças nas plantas**. Disponível em: <<https://blog.verde.ag/encontro-com-gigantes/beneficios-do-silicio-para-plantas/>>. Acesso em: 2 nov 2020.

RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. Silício: Um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas**, n.134, 2011.

ROMEIRO, R. S. **Bactérias fitopatogênicas**. 2 ed. Viçosa: Ed. UFV, p. 129, 2005.

ROSA, J. A. **Silício na resistência ao oídio em jardim clonal e na transpiração de mudas de eucalipto**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, Botucatu, 70 f, 2010.

SANGSTER, A. G. Silicon in Agriculture. Studies in plant science. **Elsevier**, Amsterdam, v. 8, 2001.

SANGSTER, A. G. Silicon in the roots of higher plants. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 65, n. 9, p. 929-935, 1978.

SANTOS, G. A. **Silício na produção de cana-de-açúcar**. Uberlândia, UFU, (Tese DS), 2017.

SCHAAD, N. W.; JONES, J. B.; CHUN, W. Laboratory guide for identification of plant pathogenic bacteria. **American Phytopathological Society Press**, Saint Paul, 3. ed. p. 373, 2001.

SCHULTZ, B.; BORA, K. C.; NOGUEIRA, A. C.; AUER, C. G. Uso do silicato de potássio no controle de oídio em mudas de *Eucalypto benthamii*. **Pesq. Flor. Bras**, Colombo, v. 32, n. 69, p. 93-99, 2012.

SHETTY, R.; JENSEN, P.; SHETTY, N. P.; HANSEN, M.; HANSEN, C. W.; STARKEY, K. R.; JORGENSEN, H. J. L. Silicon induced resistance against powdery mildew of roses caused by *Podosphaera pannosa*. **Plant pathology**, v. 61, p. 120-131, 2012.

SIDDIQUI, Z. A.; HASHMI, A.; KHAN, M. R.; PARVEEN, A. Management of bacteria *Pectobacterium carotovorum*, *Xanthomonas campestris* pv. *carotae* and fungi *Rhizoctonia solani*, *Fusarium solani* and *Alternaria dauci* with silicon dioxide nanoparticles on carrot. **International Journal of Vegetable Science**, 2019.

SILVA, J. C. A madeira do futuro. **Revista da madeira**, edição especial, Curitiba, p. 4, 2001.

SILVA, J. C.; COELHO, L. Calcário e silicato aplicados em eucalipto: efeito no solo e na planta. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 919-924, 2010.

SILVA, T. S.; SPADA, G.; FARIA, M. F.; GOULART, L. M. L.; FURTADO, E. L.; PASSOS, J. R. S.; GUERRINI, I. A. Fitosanidade e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em função da aplicação de fosfito e silício. **Summa Phytopathol**, Botucatu, v. 45, n. 3, p. 332 -336, 2019.

SILVA, T. T. S. **Fitossanidade e qualidade de mudas de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* em função da aplicação de fosfito e silício.** Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, p. 26, 2016.

SILVA, A. G. **Histopatologia e influência de nutrientes na intensidade da bacteriose foliar do Eucalipto causada por *Xanthomonas axonopodis*.** Viçosa, UFV, (Tese DS), 2007.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N. **Aspectos nutricionais envolvidos na ocorrência de doenças com ênfase para o eucalipto.** Piracicaba, IPEF-ESALQ/USP. p. 1-13. (Circular Técnica, nº 200), 2003.

SILVEIRA, R. L. V. A.; HIGASHI, E. N.; GONÇALVES, A. N.; MOREIRA, A. **Evaluation of the nutritional status of eucalypts: visual and foliar diagnoses and their interpretation.** In: GONÇALVES, J.L.M.; BENEDETTI, V. (Eds.). Forest nutrition and fertilization. p.79-104, Piracicaba, IPEF, 2004.

SONG, A.; XUE, G.; CUI, P.; Fan, F.; LIU, H.; YIN, C.; SUN, W.; LIANG, Y. The role of silicon in enhancing resistance to bacterial blight of hydroponic- and soil-cultured rice. **Scientific Reports**, v. 19, n. 6, p. 24640, 2016.

SOUZA, N. M.; OLIVEIRA, E. V. F.; TOLEDO, F. H. S. F.; LAVRES, J.; MORAES, G. L. G. Do the nutrition and physiology of eucalyptus seedlings respond to silicon (Si) supply? **Australian Journal of Crop Science**, v. 11, n. 9, p. 1086-1093, 2017.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 3 ed. São Paulo. Arned. 2004.

TAKAHASHI, E. **Uptake mode and physiological functions of sílica.** In: Science of the rice plant. Physiology Food and Agric. Policy Res Center, Tokyo, v. 2, p. 420-433, 1996.

TAYLOR, E. H.; BRADBURY, J. F.; PREECE, T. F. *Xanthomonas campestris* pv. *Begonia*: description of Fungi and Bacteria, **Cabi Bioscience**, n.70, p. 699, 1981.

WORDELL, F. J. A.; DUARTE, H. S. S.; RODRIGUES, F. A. Efeito da aplicação foliar de silicato de potássio e de fungicida na severidade da ferrugem da folha e da mancha amarela do trigo. **Rev, Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 5, p. 726-730, 2013.

XAVIER, A.; COMÉRCIO, J. Microestaquia: uma maximização da micropropagação de *Eucalyptus*. **Revista Árvore**, v. 20, p. 9-16, 1996.

ZAMBOLIM, L.; VENTURA, J. A. **Resistência a doenças induzidas pela nutrição mineral das plantas.** Revisão Anual de Patologia de Plantas, v. 1, p. 275-318, 1993.

ZAUZA, E. V.; FERREIRA, M. A. **Manejo integrado de doenças bióticas em viveiros florestais,** 2013.

ZELLNER, W.; FRANTZ, J.; LEISNER, S. 2011. Silicon delays Tobacco ringspot virus systemic symptoms in *Nicotiana tabacum*. **Journal of Plant Physiology**, v. 168, n. 15, p. 1866-1869, 2011.

APÊNDICE - Análise do substrato das mudas contendo as dosagens de silicato de cálcio e magnésio em cada tratamento.

Ref.	pH H ₂ O	P mg/dm ³	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ Al	SB	(t)	T	V %	M	MO dag/kg	P- Rem
T1	5.53	763.71	1576	14.8	0.3	0	4.37	15.3	15.3	19.67	77.79	0	17.52	35.5
T2	5.55	874.74	1380	14.3	0.5	0	3.78	14.98	14.98	18.76	79.84	0	17.04	35.2
T3	5.61	706.7	1424	12.1	2.4	0	3.82	14.68	14.68	18.51	79.33	0	18.77	32.99
T4	5.65	853.83	1374	14.5	1.1	0	3.42	15.78	15.78	19.2	82.17	0	16.31	35.5
T5	5.59	958.58	1378	15.3	0.9	0	3.82	16.38	16.38	20.2	81.07	0	18.1	34.03

Ph em água – Relação 1: 2,5; P – K – Extrator Mehlich 1

Ca- Mg – Al – Extrator: KCl 1N; SB = Soma de bases trocáveis

CTC (t) – Capacidade de troca catiônica efetiva

CTC (T) – Capacidade de troca catiônica a pH 7,0

V = Índice de saturação de bases; m = Índice de saturação de alumínio

P – REM = Fósforo remanescente

Mat. Or. (MO) – Oxidação: $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{4N} + \text{H}_2\text{SO}_4\text{10N}$