



AVALIAÇÃO DE COMPONENTES DE RESISTÊNCIA DE CULTIVARES DE ALGODOEIRO SUPRIDAS COM SILÍCIO À RAMULOSE*

Antonia Mirian Nogueira de Moura Guerra^{1*}; Yasmim Cristina Rodrigues²; Angélica Fátima Barros²; Trícia Costa Lima¹; Fabrício Ávila Rodrigues²; Paulo Geraldo Berger¹

¹Depto. de Fitotecnia - Universidade Federal de Viçosa – UFV, e-mail: mirianagronoma@hotmail.com; ²Depto. de Fitopatologia - Universidade Federal de Viçosa – UFV.

Resumo: No Brasil, a cultura do algodão tem passado por transformações em todas as áreas de produção, apresentado crescimento exponencial nos últimos anos em termos de área cultivada, porém esse crescimento poderia ser maior se não houvesse a interferência de doenças que levam a perdas significativas. A ramulose é causada pelo fungo *Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides* destaca-se por provocar danos irreparáveis e perdas de até 70% da produção. Para o controle sustentável muitas alternativas vem despontando e o uso de Si mostra-se como forte expoente para esse controle. Objetivamos estudar o efeito do Si sobre alguns componentes de resistência do algodão a ramulose. Plantas de algodão das cultivares BRS Araçá e FM 993 foram crescidas em solução nutritiva supridas com (+Si) e sem (-Si) silício em condições de casa de vegetação. As plantas foram inoculadas com suspensão de $1,5 \times 10^6$ conídios.ml⁻¹. Após inoculação foram conduzidas por 30 dias em câmara de crescimento com nevoeiro. Foram avaliados os seguintes componentes de resistência: PI, Incidência (%), AACPF, curva de progresso da ramulose e concentração de Si nos tecidos foliares. Houve efeito significativo do Si aumentado o PI e concentração de Si nos tecidos foliares, reduzindo a Incidência (%), AACPR e curva de progresso da ramulose. A correlação entre concentração de Si nos tecidos foliares e PI foi positivamente significativa ($r = 0,34$, $P \leq 0,01$), e negativamente significativa para ($P \leq 0,01$) para Incidência e AACPR ($r = -0,44$ e $-0,70$). Todas as variáveis analisadas estão envolvidas contribuindo para o processo de indução de resistência do algodão a ramulose nas cultivares estudadas.

Palavras-chave: severidade; período de incubação; incidência; concentração foliar de silício.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a cotonicultura vem passando por transformações em todas as áreas de produção. Na década de 1980, ocorreu drástica redução do cultivo do algodão em função do agravamento de problemas relativos à comercialização da matéria-prima (BARBOSA et al., 1997). A partir de 1997, iniciou-se o processo de retomada da cultura baseado em novos padrões tecnológicos e empresariais (FERREIRA FILHO, 2001), trazendo consigo outros problemas, dentre os quais sobressai à incidência

* Agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo suporte financeiro durante a realização dessa pesquisa.

de doenças, as quais encontraram ambientes amplamente favoráveis para seu desenvolvimento (PAIVA et al., 2001). Por conseguinte, justifica-se a grande preocupação da cotonicultura nacional com respeito às doenças, uma vez que estas constituem um dos principais problemas da cultura em determinadas regiões do país, chegando a provocar perdas vultosas em cultivares suscetíveis (CIA et al., 2005). Dentre as doenças que afetam a cultura do algodão, a ramulose destaca-se por provocar danos irreparáveis e perdas de até 70% da produção. A ramulose é causada pelo fungo *Colletotrichum gossypii* var. *cephalosporioides* (SUASSUNA, 2008). As quatro características principais dos sintomas nas plantas infectadas são manchas nas folhas, queima do ápice, redução do porte e superbrotamento. A lesão inicial é observada na forma de manchas necróticas circulares ou alongadas nas folhas jovens do ponteiro das plantas. Com o crescimento da folha ocorre o rompimento do tecido, originando perfurações nas folhas. O crescimento desigual do tecido provoca enrugamento do limbo foliar. A ramulose evolui das folhas jovens para as novas folhas jovens, aumentando a infecção no ponteiro das plantas. Nos pecíolos, nos galhos ou na haste principal são observadas lesões escuras que provocam a queda das folhas. Com a evolução dos sintomas na planta, as lesões no ponteiro provocam a morte do meristema apical paralisando o crescimento do ramo, reduzindo internódios, aumentando ramificações laterais que conferem um aspecto envassourado (COSTA; FRAGA JÚNIOR, 1937; SARAN, 2009; SUASSUNA, 2008). A severidade da ramulose é maior quando ocorre em plantas no início do desenvolvimento vegetativo. Em condições ambientais favoráveis, novas infecções ocorrem nos brotos recém-lançados, impedindo o crescimento normal da planta (SUASSUNA, 2008).

O silício (Si), apesar de não ser considerado elemento essencial, proporciona benefícios a várias espécies vegetais, incluindo redução da severidade de doenças em inúmeras culturas (BOWEN et al., 1992; DATNOFF et al., 1997; LIANG et al., 2005; POZZA et al., 2004). O Si atua no controle de importantes doenças fúngicas em culturas economicamente importantes reduzindo suas intensidades após a aplicação de Si no solo (DATNOFF et al., 1997; DATNOFF; RODRIGUES, 2005; RODRIGUES et al., 2001, 2003; SAVANT et al., 1997). Estão registrados os efeitos do Si no controle de doenças fúngicas em dicotiledôneas, tais como abóbora, pepino, videira e roseira (BOWEN et al., 1992; CHÉRIF et al., 1994; MENZIES et al., 1992).

O conhecimento do efeito do Si sobre a suscetibilidade do algodão à ramulose pode contribuir no manejo dessa doença. Entretanto, ainda é pequeno o conhecimento do efeito do silício na ramulose e seu metabolismo na cultura do algodão. Diante das evidências da literatura acerca dos efeitos benéficos do Si no controle de doenças de plantas, objetivou-se estudar seus efeitos sobre alguns componentes de resistência do algodoeiro à ramulose.

METODOLOGIA

Plantas de algodoeiro das cultivares BRS Araçá (resistente) e FM 993 (suscetível) foram crescidas em solução nutritiva de Hoagland e Arnon (1950) modificada constituída de: 6,0 mmol L⁻¹ KNO₃; 1,0 mmol L⁻¹ NH₄H₂PO₄; 2,0 mmol L⁻¹ MgSO₄.7H₂O; 4,0 mmol L⁻¹ Ca(NO₃)₂; 0,3 µmol L⁻¹ CuSO₄.5H₂O; 1,3 µmol L⁻¹ ZnSO₄.7H₂O; 46 µmol L⁻¹ H₃BO₃; 12,6 µmol L⁻¹ MnCl₂.4H₂O; 0,1 µmol L⁻¹ (NH₄)₆Mo₇O₂₄.4H₂O; 45 µmol L⁻¹ FeSO₄.7H₂O e 45 µmol L⁻¹ EDTA bissódico. O ácido monossilícico, obtido pela passagem do silicato de potássio através de uma coluna contendo resina trocadora de cátions (Amberlite IRA 410) (MA et al., 2002) foi adicionado à solução nutritiva nas concentrações de 0 (-Si) ou 2 mmol Si L⁻¹ (+Si). As plantas foram crescidas em casa de vegetação do Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Viçosa.

As sementes foram lavadas em solução de hipoclorito de sódio (10%) e germinadas em leito de areia lavada e autoclavada. Dez dias após a germinação, as plântulas foram transplantadas para solução nutritiva uma força iônica onde permanecerão até o final do experimento, sendo que a solução nutritiva era trocada a cada quatro dias e o pH verificado diariamente e mantido entre 5,5 e 6,0. A inoculação com *C. gossypii* var. *cephalosporioides* foi realizada quando as plantas de algodoeiro atingiram estágio V₄, 30 dias após transplantio (MARUR; RUANO, 2001) com um atomizador. Os conídios foram obtidos a partir da raspagem e lavagem de placas de petri com meio de cultura BDA (batata, dextrose e Agar). A preparação do inóculo foi feita através da raspagem e lavagem das placas contendo a colônia do fungo, as placas foram lavadas com água destilada e com auxílio de um pincel para uma melhor retirada dos conídios e, posteriormente, a suspensão obtida foi filtrada em camada dupla de gazes para a retirada de impurezas. A suspensão resultante foi homogeneizada e ajustada para a concentração de 1,5 × 10⁶ conídios.mL⁻¹. Gelatina foi adicionada na suspensão (1% p/v) para aumentar a aderência dos conídios na superfície foliar. Após a inoculação, as plantas foram mantidas em câmara de nevoeiro a 25 ± 2°C com fluxo contínuo de luz por 24h e em seguida transferidas para câmara de crescimento com fornecimento de umidade até o final das avaliações.

Os seguintes componentes de resistência foram avaliados: período de incubação (PI), intensidade da ramulose e severidade da ramulose. Foram marcadas cinco plantas por parcela que foram usadas para avaliar os componentes de resistência mencionados anteriormente. O PI foi avaliado diariamente para o aparecimento dos sintomas através do exame das plantas marcadas a cada 24 horas após a inoculação (hai). Para determinar a intensidade da ramulose, foram avaliadas a incidência (porcentagem de plantas com sintomas da doença) e a severidade. A severidade foi obtida por meio de escala de notas proposta por Costa e Fraga Júnior (1937) onde: 0 = plantas sem sintomas;

1 = plantas apresentando lesões necróticas nas folhas, pecíolos e nervuras; 2 = morte do ápice, hiperplasia, morte dos meristemas laterais; 3 = encurtamento de internódios e início do superbrotamento; 4 = intenso superbrotamento e redução do porte e desenvolvimento da planta, morte das partes afetadas. A incidência foi avaliada no 5º dia após inoculação (dai). A severidade foi avaliada diariamente a partir do 1º dai até o 10º dai e depois a cada 5 dias até o 30º dai. As notas de severidade utilizadas para obter o índice de McKinney (1923). A área abaixo da curva de progresso da ramulose (AACPR) para cada folha em cada planta foi calculada usando a integração trapezoidal da curva de progresso da doença obtida com os valores de severidade ao longo do tempo, seguindo a fórmula proposta por Shaner e Finney (1977). Ao 30º dai as folhas marcadas foram coletadas e secas em estufa e moídas em moinho, para determinação da concentração foliar de Si conforme proposto por Korndörfer et al., 2004.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 2 x 2, constando de duas cultivares (BRS Araçá e FM 993) e duas doses de Si [0 (-Si) ou 2 mmol Si L⁻¹ (+Si)] arranjados aleatoriamente com seis repetições. Cada repetição era composta por cinco plantas mantidas em vaso plástico contendo 5 litros de solução nutritiva. Os dados foram submetidos a análise de variância (ANOVA) e os fatores foram comparados pelo teste-*t* ($P \leq 0,05$) utilizando o SAS (SAS Institute, Inc., Cary, NC). O concentração de Si nos tecidos foliares foi correlacionado com os componentes de resistência do hospedeiro avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fator doses de Si foi significativo ($P \leq 0,05$) para PI, incidência, AACPR e concentração foliar de Si. O fator cultivares não foi significativo ($P > 0,05$) para os componentes de resistência estudados (Tabela 1). Houve um aumento de 19,5 % no PI quando comparou-se o tratamento +Si com o controle (Tabela 1). A Incidência e a AACPF reduziram em 57 e 21,3 %, respectivamente, quando comparado o tratamento +Si com o controle (Tabela 1). A concentração foliar de Si aumentou 24% para o tratamento +Si quando comparado com o controle (Tabela 1).

A curva de progresso da doença mostra que ao 5º dai a severidade da ramulose já apresentava-se em torno de 20% em ambas as cultivares para o controle (-Si) enquanto que as plantas do tratamento +Si apresentava uma severidade inferior a 10% para as duas cultivares (Fig. 1A, B). O progresso na severidade da doença das plantas que receberam Si foi menor quando comparado com as plantas do tratamento controle para ambas as cultivares (Fig. 1A, B).

A correlação entre a concentração foliar de Si e o PI foi positiva significativa ($r = 0,34$, $P \leq 0,01$) e negativa e significativa ($P \leq 0,01$) para a incidência e a AACPR ($r = -0,44$ e $-0,70$, respectivamente).

Doenças em culturas economicamente importantes como o arroz, trigo, cevada, milho, pepino, uva e morango são eficientemente controladas pela aplicação de Si (DATNOFF et al. 2007). Entretanto, para a interação algodoeiro-*C. gossypii* var. *cephalosporioides* ainda não foi estudado o efeito do Si em aumentar a resistência das plantas. Assim, este estudo prova com estas informações o efeito do Si em aumentar a resistência do algodoeiro à infecção por *C. gossypii* var. *cephalosporioides*. Cultivares de algodoeiro BRS Araçá e FM 993 tiveram capacidade fisiológica de absorver Si da solução nutritiva e impactar negativamente o progresso da ramulose apresentando concentrações entre 0,5 e 1%, enquadrando-se no grupo de plantas intermediárias quanto ao acúmulo de Si (TAKAHASHI et al. 1990). Essa concentração foi suficiente para afetar negativamente o progresso da ramulose.

Todos os componentes de resistência avaliados em ambas as cultivares foram afetados pelo Si. O Si contribuiu para aumentar o PI. Aumento no PI pode reduzir a taxa de progresso de epidemias que, conseqüentemente, decresce o número de ciclos secundários dos patógenos (ZADOKS, 1971). Resende et al. (2009) mostraram a importância da aplicação de Si em cultivares de sorgo induzindo resistência a antracnose, evidenciando que o Si aumentou o PI e reduziu a área abaixo da curva de progresso do índice da doença, área abaixo da curva da eficiência relativa de infecção e a severidade final da antracnose.

A curva de progresso da ramulose nas plantas supridas com Si é inferior ao controle. O Si reduziu a AACPR. Conforme Bowen et al. (1992), a redução da severidade do oídio da videira, também foi devido à formação de barreira física, dificultando a penetração das hifas. Além da formação de barreira física, o silício pode ativar mecanismos de defesa da planta (CHÉRIF et al., 1994; MENZIES et al., 1995).

A redução na AACPR e a menor curva de progresso da ramulose nas plantas supridas com Si sugerem que pode ocorrer alguma interferência do Si no acesso do patógeno aos tecidos do hospedeiro, podendo afetar a colonização. O mecanismo de ação do silício na redução desta doença ainda não é totalmente conhecido, mas, pode-se inferir que seu efeito pode ser devido a formação de barreiras (química e físicas) nas folhas despertando mecanismos de resistência.

CONCLUSÃO

O Si atuou sobre os componentes de resistência do algodoeiro aumentando o PI e a concentração foliar desse elemento e reduzindo a incidência e a AACPR.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBOSA, M. Z.; KONDO, J. I.; SOUZA, M. C. M.; FUZATTO, M. G.; YASBEK JUNIOR, W. **Têxteis de algodão: realidade e perspectivas**. São Paulo: SAA, 1997. 66 p.

BOWEN, P.; MENZIES, J. G.; EHRET, D.L. Soluble silicon sprays inhibit powdery mildew development on grape leaves. **Journal of the American Society Horticultural Science**, Alexandria, v. 117, n. 6, p. 906-912, 1992.

CIA, E.; FUZATTO, M. G.; ALMEIDA, W. P.; RUANO, O.; KONDO, J. I.; PIZZINATTO, M. A.; CARVALHO, L. H.; ROSSETTO, R.; KASAI, F. S.; FOLTRAN, E. Resistência genética a doenças e nematóides em genótipos de algodoeiro. **Summa Phytopathologica**, v. 31, n. 4, p. 323-326, 2005.

CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, St. Paul, v. 84, n. 3, p. 236-242, 1994.

COSTA, A. S.; FRAGA JÚNIOR, C. G. **Superbrotamento ou ramulose do algodoeiro**. Campinas, SP: Instituto Agrônomo, 1937. 23 p. (Boletim Técnico, 19).

DATNOFF, L. E.; DEREN, C. W.; SNYDER, G. H. Silicon fertilization for disease management of rice in Florida. **Crop Protection**, London, v. 16, n. 6, p. 525-531, 1997.

FERREIRA FILHO, J. B. S. Comercialização do algodão no Brasil. In: FONTOURA, J. U. G.; FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste. p. 35-53, 2001.

HOAGLAND, D. R.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. **Cal agric. Exp. Sta. Cir.** v. 32, 1950.

KORDNÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício, solo planta e fertilizante**. Uberlândia MG: Universidade Federal de Uberlândia, 2004. 24 p. (Boletim Técnico).

LIANG, Y. C.; SUN, W. C.; SI, J.; ROMHELD, V. Effects of foliar and root-applied silicon on the enhancement of induced resistance to powdery mildew in *Cucumis sativus*. **Plant Pathology**, Oxford, v. 54, n. 5, p. 678-685, 2005.

MA, J.; TAKAHASHI, E. **Soil, fertilizer and plant silicon research in Japan**. Amsterdam: Elsevier. 2002.

MENZIES, J. G.; EHRET, D. L.; GLASS, A. D. M.; HELMER, T.; KOCH, C.; SEYWERD, F. The influence of silicon on cytological interactions between *Sphaerotheca fuliginea* and *Cucumis sativus*. **Physiology Molecular Plant Pathology**, London, v. 39, n. 6, p. 403-414, 1992.

PAIVA, F. A.; ASMUS, G. L.; ARAÚJO, A. E. Doenças. In: FONTOURA, J. U. G.; FREIRE, E. C. (Ed.). **Algodão: tecnologia de produção**. Dourados, Embrapa Agropecuária Oeste, 2001. p. 245-267.

POZZA, A. A. A.; POZZA, E. A.; BOTELHO, D. M. S. O silício no controle de doenças de plantas. **Revisão anual de patologia de plantas**, Passo Fundo, v. 12, p. 373-402, 2004.

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 resistant sorghum lines. **Eur. J. Plant Pathol.**, v. 124, p. 533–541, 2009.

RODRIGUES, F. A.; DUARTE, H. S. S.; DOMICIANO, G. P.; SOUZA, C. A.; KORNDÖRFER, G. H.; ZAMBOLIM, L. Foliar application of potassium silicate on the control of soybean rust. **Australasian Plant Pathology** v. 38, p.366-372, 2009.

RODRIGUES, F. Á.; MCNALLY, D. J.; DATNOFF, L. E.; JONES, J. B.; LABBÉ, C.; BENHAMOU, N.; MENZIES, J. G.; BÉLANGER, R. R. Silicon enhances the accumulation of diterpenoid phytoalexins in rice: a potential mechanism for blast resistance. **Phytopathology**, v. 94, n. 177-183. 2005.

RODRIGUES, F. A. et al. Ultrastructural and cytochemical aspects of silicon-mediated rice blast resistance. **Phytopathology**, v. 93, p. 535-546, 2003.

RODRIGUES, F. Á.; KORNDÖRFER, G. H.; CORRÊA, G. F.; BUKI, G. B.; SILVA, O. A. ; DATNOFF, L. E. Response of six Gramineae species to application of calcium metasilicate. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H.; KORNDÖRFER, G. H. (Ed.). **Silicon in Agriculture**. Amsterdam: Elsevier Science, 2001. 378 p. (Studies in Plant Science, vol. 8).

SARAN, P. E. **Manual de doenças do algodoeiro**: identificação, biologia e sintomas de danos. Fazendo mais pelo campo, 2009.

SAVANT, N. K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Depletion of plant available silicon in soils: a possible cause of declining rice yields. **Communications Soil Science in Plant Analysis**, v. 28, n. 13/14, p. 1245-1252, 1997.

SUASSUNA, N. D.; COUTINHO, W. D; ASMUS, G. F; INOMOTO, M. S.; CHITARRA, L. C. Manejo de doenças do algodoeiro. In: BELTRÃO, N. E. de M.; AZEVEDO, D. M. P. de. (Ed.). **O Agronegócio do algodão no Brasil**. 2. Ed. Brasília, D.F.: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. p. 983-1032.

ZADOKS, J. C. Systems analysis and the dynamics of epidemics. **Phytopathology**, v. 61 p. 600–610, 1971.

Tabela 1 - Período de incubação (PI), incidência, área abaixo da curva de progresso da ramulose (AACPR) e concentração foliar de silício (Si) em plantas das cultivares BRS Araçá e FM 993 crescidas em solução nutritiva com (+Si) e sem (-Si) após infecção com *C. gossypii* var. *cephalosporioides*.

Fatores		Componentes de resistência		
Silício	PI (dias)	Incidência (%)	AACPR	Concentração de Si nos tecidos foliares (%)
-Si	4,25	91,67	1441,75	0,14
+Si	5,08	58,3	1188,92	0,59
Teste-t	0,75*	22,78*	85,07*	0,09*
Cultivares				
BRS Araçá	4,66	75,00	1290,83	0,38
FM 993	4,66	75,00	1339,83	0,34
Teste-t	0,83 ^{ns}	27,14 ^{ns}	85,09 ^{ns}	0,21 ^{ns}
CV (%)	18,97	35,61	7,66	28,33

CV: coeficiente de variação; ns: não significativo; * P ≤ 0,05: significativo a 5% de probabilidade pelo teste-t.

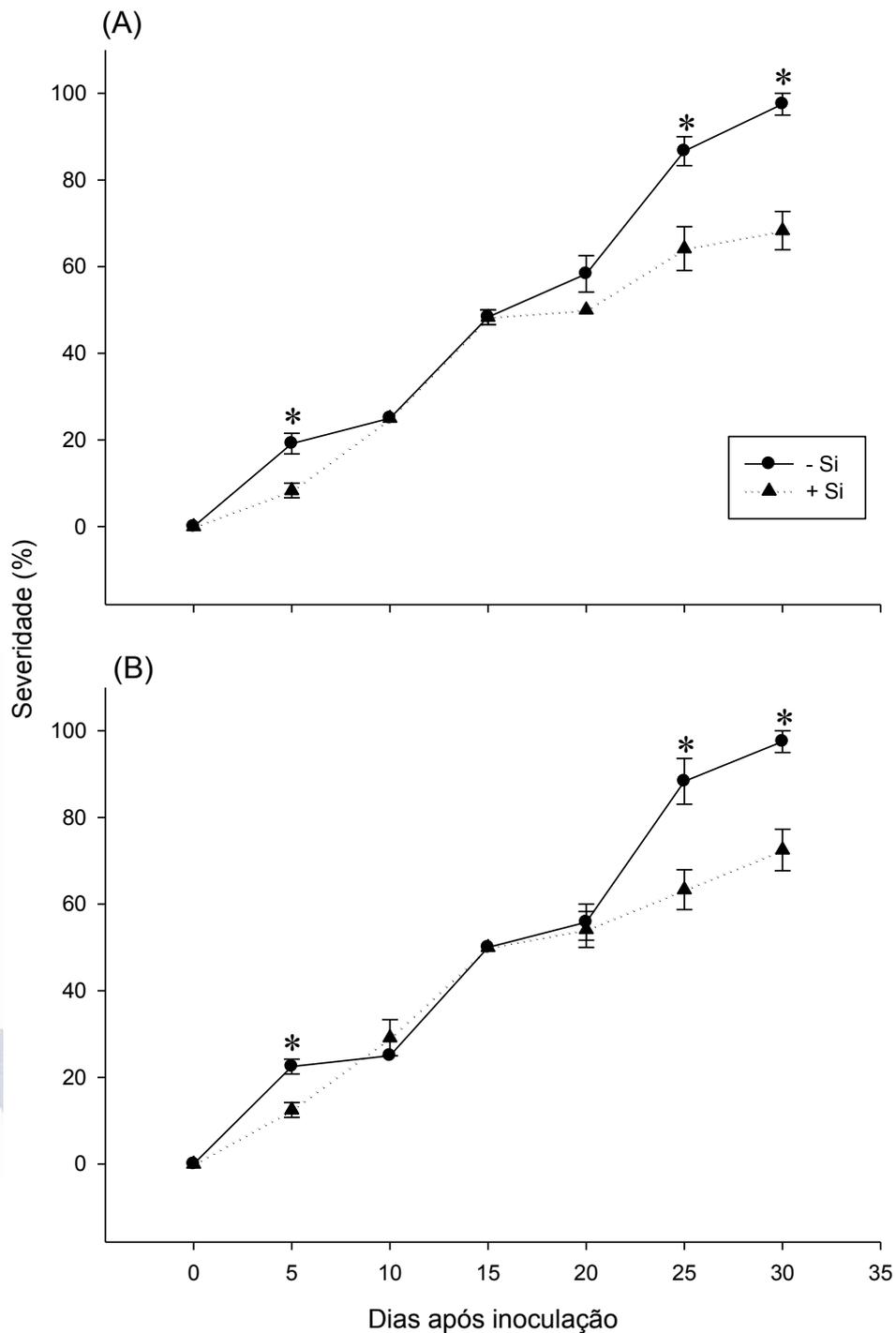


Figura 1 - Curvas de progresso da ramulose após infecção com *C. gossypii* var. *cephalosporioides*, representando cultivares BRS Araçá (A) e FM 993 (B) supridas com (+Si) e sem (-Si) silício. Cada ponto representa a média de seis repetições. Barra de erros representa desvio padrão das médias. Médias dos tratamentos -Si e +Si seguidas de asterisco (*) são diferentes ($P \leq 0,05$) pelo teste-*t*.