

## Artigo científico

**Produtividade de tomates oriundos da polinização natural e mecânica em duas épocas de plantio****Tomato productivity resulting from natural and mechanical pollination in two planting seasons**

N.A. Osorio-Gracia<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9763-2159>; D. Ortiz-Gonzalez<sup>2\*</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6743-9374>; H.A. Sandoval-Contreras<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1998-0390>; C.N. Gomes<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0001-5990-255X>; E.A. de Toledo-Picoli<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6275-2684>; M.A. García-Parra<sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0001-8541-5181>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Fitotecnia - Viçosa, Brasil.

<sup>2</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira, Sede Popayán. Calle 8N # 10 -68, Colombia. \*E-mail: [dfortiz@agrosavia.co](mailto:dfortiz@agrosavia.co)

<sup>3</sup> Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación La Libertad, Sede Yopal. Colombia.

<sup>4</sup> Universidade Federal de Viçosa - Departamento de Biologia Vegetal - Viçosa, Brasil.

<sup>5</sup> Universidad del Cauca. Grupo de Investigación de Agricultura, Organizaciones y Frutas. Popayán, Colombia.

**Resumo**

A polinização mecânica é uma prática usada para aumentar a produtividade no cultivo de tomate, porém ainda há pouca informação que sustente sua viabilidade agrônômica nos sistemas de produção em diferentes épocas do ano. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho, foi estudar os efeitos da polinização mecânica em duas épocas de plantio na produtividade de tomates de três grupos varietais comerciais destinados ao consumo fresco. O experimento foi conduzido em campo, na Unidade de Pesquisa e Extensão de Hortaliças do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. O delineamento experimental foi de blocos completamente aleatórios, em esquema fatorial 2 (épocas de plantio) x 2 (polinização natural e polinização mecânica). Os ensaios foram realizados em outono/inverno e verão/outono e cada grupo varietal foi avaliado separadamente. Foram avaliadas variáveis referentes a: produtividade, número de sementes e massa seca de sementes. Os resultados indicam que a polinização mecânica pode melhorar a produtividade do tomateiro, no entanto, pode variar dependendo da variedade e das épocas do ano. Foi evidenciado um aumento na produtividade com o uso da polinização mecânica nas duas épocas de plantio para os grupos varietais Salada e Italiano, enquanto no grupo Santa Cruz apenas verificou-se esse aumentou na época de outono/inverno. A polinização mecânica não teve efeito sobre o aumento da massa de sementes e só aumentou o número de sementes no grupo Salada.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum*; Produtividade e sustentabilidade.

**Abstract**

Mechanical pollination is a practice used to increase productivity in tomato cultivation, but there is still little information to support its agronomic viability in production systems at different times of the year. In this sense, the objective of this work was to study the effects of mechanical pollination in two planting seasons on tomato yield of three commercial varietal groups destined to fresh consumption. The experiment was carried out at the experimental field from the Vegetation Research and Extension Unit of the Plant Science Department of the Federal University of Viçosa. The experimental design was completely randomized blocks, in a factorial scheme 2 (planting times) x 2 (natural pollination and mechanical pollination). Trials were performed in autumn / winter and summer / autumn and each varietal group was evaluated separately. Variables related to: productivity, number of seeds and dry mass of seeds were evaluated. Results show that mechanical pollination can improve tomato yield; however, it may vary depending on the variety and the seasons of the year. It was evidenced an increase in productivity with the use of mechanical pollination in the two planting seasons for the varietal groups Salada and Italiano, whereas in the Santa Cruz group it was only observed that it increased in the autumn / winter season. Mechanical pollination had no effect on the increase of seed mass and only increased the number of seeds in the Salada group.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*; Productivity and sustainability.

Recebido: 04/07/2019; Aceito: 25/06/2020.

Os autores declaram que não há conflito de interesses.

## Introdução

O cultivo do tomate representa um importante papel na economia brasileira, ao movimentar anualmente aproximadamente \$ 4,2 bilhões de reais e gerar mais de 650.000 empregos nos sistemas de produção (Melo, 2014). Entre os principais grupos varietais de tomateiro posicionados no mercado brasileiro encontram-se o Salada, Italiano, Santa Cruz e Cereja com uma participação de 52,2 %, 25,1 %, 21,9 % e 0,8 %, respectivamente (Pereira-Carvalho *et al.*, 2015). A crescente demanda por tomate no Brasil e o déficit de insetos polinizadores tem motivado o desenvolvimento de práticas agronômicas complementares às tradicionais para melhorar a produtividade (Elias, 2016).

A produtividade do tomate é determinada pela quantidade de tomates produzidos e o calibre dos mesmos por unidade de área. Igualmente, a produtividade está intimamente relacionada com o número de sementes, número de lóculos e número e volume de camadas de células do pericarpo que são dependentes do grau de divisão e expansão celular (Alvarenga, 2013; Ariizumi *et al.*, 2013). Estes eventos são consequência de processos moleculares e fisiológicos regulados por hormônios, os quais atuam como moduladores que sincronizam o ciclo celular, sendo as auxinas, giberelina, citocinina, ácido abscísico e etileno os de maior relevância (Gillaspy *et al.*, 1993; Srivastava e Handa, 2005). Diferentes fatores como cultivar, temperatura, luminosidade, humidade relativa, nutrição e os efeitos de reguladores de crescimento favorecem o desenvolvimento da flor e contribuem para a formação dos frutos (Alvarenga, 2013).

Por outro lado, a polinização é um serviço ambiental que influencia diretamente a produtividade e o desenvolvimento do fruto (Cardoso, 2007). Nesse sentido, sucesso da pegamento, diâmetro y qualidade de frutos dependente do processo de fertilização dos óvulos e preenchimento do ovário (Gillaspy *et al.*, 1993; Ariizumi *et al.*, 2013). Para as flores da maioria das solanáceas, a morfologia de suas anteras desempenha um papel importante no processo de liberação de pólen (Carrizo *et al.*, 2008; Silva *et al.*, 2010). No tomate a deiscência poricida das anteras é um fator limitante no processo de polinização, uma vez que a abertura e disposição do estômio (ponto onde se produz a deiscência), se dá através de poros apicais e num único ponto, represando os grãos de pólen e dificultando a liberação dos mesmos (Carrizo *et al.*,

2008). Segundo Silva *et al.* (2010), as flores do tomate requerem ser vibradas para facilitar a liberação do pólen pelos poros das anteras e permitir a deposição dos grãos sobre o estigma.

No tomate o principal agente polinizador são as abelhas do gênero *Bombus* (Velthuis, 2002; Vergara e Fonseca, 2012) as quais induzem a liberação do pólen por meio de vibrações (*buzz pollination*) feitas pelos movimentos torácicos do inseto quando está perto de as anteras das flores (Goulson, 2010; Silva *et al.*, 2010; De Luca e Vallejo-Marin, 2013). Quando as frequências vibratórias dos insetos são baixas (inferior a 400 Hz) (Harder e Barclay, 1994; Goulson, 2010) e quando as condições ambientais são desfavoráveis, relacionadas à alta humidade relativa e baixas temperaturas (Pressman *et al.*, 1999; Vanbergen *et al.*, 2013) o processo de polinização natural é limitado. Uma alternativa complementar à função exercidas pelos insetos e o vento, é utilizar vibradores mecânicos que otimizem a função desempenhada pelos polinizadores naturais, pois estes mecanismos possuem a capacidade de efetuar maiores vibrações (superiores aos 400 Hz) de uma maneira constante e seletiva, facilitando a liberação e pegamento do pólen (Harder e Barclay, 1994; Goulson, 2010). Existem diferentes métodos antrópicos que permitem potencializar o processo de polinização, entre eles encontram-se: sopradores (mecânico ou backpack) (Nahir *et al.*, 1984), balanço manual dos fitilhos, balanceio do tutor das plantas (Higuti *et al.*, 2010) e vibração por escova de dentes eléctrica (Pressman *et al.*, 1999; Cuéllar *et al.*, 2001).

Existem vários trabalhos que versam sobre os efeitos da polinização na produtividade do tomateiro em ambientes protegidos, porém, não há informação suficiente sobre as possíveis alterações da polinização mecânica sobre o calibre e a quantidade de frutos gerados sob outra condição, ou seja, cultivo do tomateiro a pleno sol (Aldana *et al.*, 2007; Higuti *et al.*, 2010; Santos, 2014). Por esse motivo, o objetivo de nossa proposta baseia-se em fazer um estudo comparativo da produtividade de frutos de tomates oriundos da polinização natural e mecânica em nível de campo e determinar seus efeitos em diferentes épocas de plantio.

## Material e métodos

Os ensaios foram conduzidos na horta de pesquisa da Universidade Federal de Viçosa localizada em 20° 45' 14" LS, 42° 52' 53" LW a uma altitude

de 648 m, no município de Viçosa, Minas Gerais e em área de 384 m<sup>2</sup>. O monitoramento das plantas foi realizado as épocas da plantação outono/inverno (27 de abril do 2015 a 10 de setembro do 2015) e verão/outono (14 de janeiro do 2016 a junho do 2016) com o intuito de verificar os efeitos da polinização mecânica na produtividade do tomate nos grupos varietais Santa Cruz (SC), Salada (SA) e Italiano (IT). Durante a fase de floração no cultivo de outono/inverno registrou-se temperatura média de 18 °C e umidade relativa média de 83 %, enquanto no verão/outono foi de 23 °C e 78 % respectivamente.

O delineamento experimental para os ensaios foi o de blocos totalmente aleatórios, em esquema fatorial 2x2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por meio da combinação de duas épocas de plantio: outono/inverno, verão/outono e dois tipos de polinização: natural e mecânica. O fator de bloqueio foi a inclinação do terreno e as unidades experimentais foram constituídas por dez plantas. A polinização natural aconteceu por meio do processo de autopolinização sem qualquer restrição em relação à livre visitação dos agentes polinizadores e a polinização mecânica foi realizada diariamente às 9 h desde o aparecimento das primeiras flores até o início do crescimento do ovário da última flor com o auxílio de uma escova de dente elétrica para vibração das flores.

Aos 23 dias após emergência de sementes as plantas foram transplantadas para o campo, tutoradas no sistema vertical fitilho e espaçadas de 0,6 m entre plantas por 1,0 m entre sulco. O manejo agrônomico foi realizado segundo a necessidade e mediante recomendações específicas para o cultivo (Alvarenga, 2013). As recomendações de adubação foram feitas segundo interpretação da

análise de solo com base na 5<sup>a</sup> aproximação (Ribeiro *et al.*, 1999). Foram avaliados produtividade e o componentes de produção referentes à quantidade e massa de frutos por planta conforme seu calibre. Número e massa de frutos grandes (NFG e MFG), médios (NFM e MFM) e pequenos (NFP e MFP) segundo normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (2002). A classificação foi feita através do meio diâmetro transversal do fruto segundo o formato: oblongo para SA e redondo para IT e SC. Frutos oblongos apresentam calibres pequenos (50-65 mm), médios (65-80 mm), grandes (80-100 mm) e gigantes (>100 mm); enquanto frutos redondos se classificam como pequenos (40-50 mm), médios (50-60 mm) e grandes (>60 mm). O número total de frutos por planta também foi avaliado (NTF).

Também foi avaliado o número de sementes viáveis por fruto (NSV) com a ajuda de um incubadora Tecnal BOD TE-391 a partir do teste de germinação e foi determinado a massa seca de 100 sementes (MSS) em uma estufa Tecnal TE-394-2, segundo regras para análises de sementes do mapa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (2009).

Os dados foram processados através de uma ANAVA para cada grupo varietal separadamente com o auxílio do software SISVAR (5.6) (Ferreira, 2000). O teste Tukey foi realizado para a diferença de médias. A estatística descritiva é apresentada de acordo com os resultados da ANAVA.

## Resultados

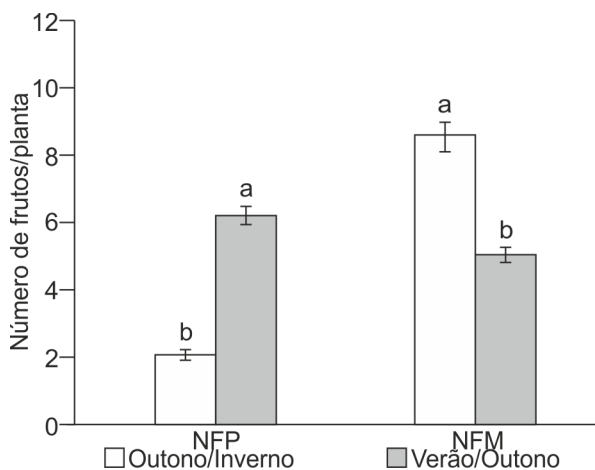
Para o grupo SC na Tabela 1 são apresentados os valores do teste F e a significância estatística para as variáveis relacionadas com à produtividade

**Tabela 1.** Resumo da análise de variância, valores de F para as variáveis: número de frutos grandes, médios e pequenos por planta (NFG, NFM, NFP); número total de frutos por planta (NTF); massa de frutos grandes, médios e pequenos por planta (MFG, MFM, MFP) e produtividade mensuradas no grupo varietal Santa Cruz (SC) em duas épocas: outono/inverno e verão/outono; e dois tipos de polinização: natural e mecânica.

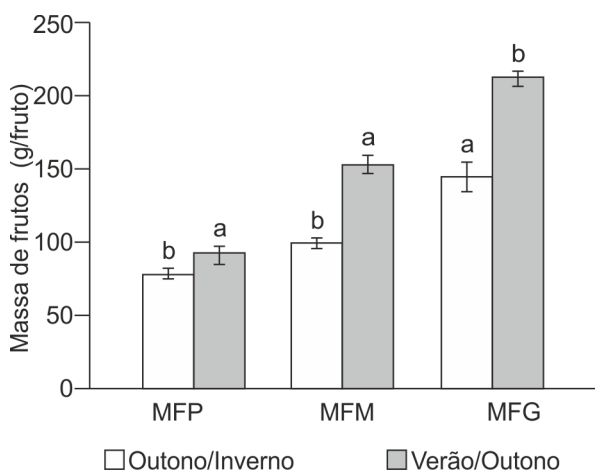
F.V.	g.l.	F							
		NFG	NFM	NFP	NTF	MFG	MFM	MFP	Produtividade
Bloco	3	<b>21,22*</b>	<b>11,16*</b>	<b>50,25*</b>	<b>15,71*</b>	<b>18,96*</b>	<b>37,51*</b>	<b>58,91*</b>	<b>15,7*</b>
Época	1	0,42	<b>5,14*</b>	<b>16,07*</b>	0,05	<b>10,62*</b>	<b>67,96*</b>	<b>8,31*</b>	<b>6,68*</b>
Polinização	1	0,03	0,19	0,53	0,34	0,14	2,21	1,45	0,06
Época x polinização	1	3,2	0,52	0,08	2,53	0,04	0,48	0,72	<b>5,2*</b>
Resíduo	9								
Total	15								
cv		11,2	25,1	19,5	10,9	12,8	12,1	19,2	12,0

F.V.: fator de variação; g.l.: graus de liberdade; cv: coeficiente de variação. As variáveis que apresentaram significância estatística foram destacadas em negrito e com asterisco (\*) ao lado,  $p < 0,05$ .

de de frutos. Foi tido efeito significativo para em relação às épocas de plantio considerados quando avaliados NFM, NFP, MFG, MFM, MFP e na interação época x polinização para a variável produtividade. As variáveis NFP (Fig. 1), MFG, MFM e MFP (Fig. 2) foram superiores quando o cultivo foi realizado na época correspondente ao plantio de verão/outono. Enquanto para NFM constatou-se aumento no plantio de outono/inverno (Fig. 1).



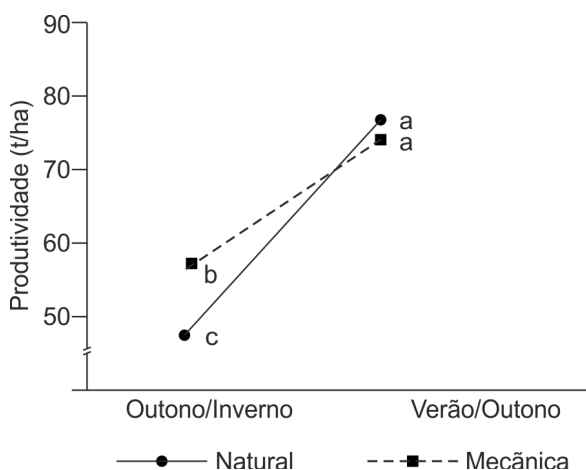
**Figura 1.** Número médio de frutos pequenos (NFP) e médios (NFM) avaliados no grupo Santa Cruz (SC) na época de plantio de outono/inverno e verão/outono. As barras de erro representam o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre épocas de plantio para um mesmo tamanho de fruta ( $p < 0,05$ ).



**Figura 2.** Massa média de frutos pequenos (MFP), médios (MFM) y grandes (MFG) avaliados no grupo Santa Cruz (SC) na época de plantio de outono/inverno e verão/outono. As barras de erro representam o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre épocas de plantio  $p < 0,05$ .

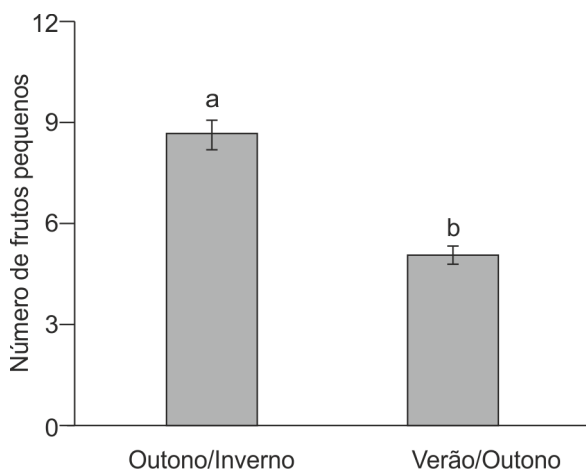
Para NFG e NTF não houve efeito significativo de nenhum dos dois fatores nem da interação. Os valores médios para essas variáveis foram  $14,3 \pm 5,2$  e  $26,2 \pm 5,8$  respectivamente. Os resultados sugerem que a variação na produtividade depende da época do plantio e o tipo de polinização utiliza-

do (Fig. 3). A polinização mecânica teve melhores resultados que a polinização natural na época de plantio outono/inverno, aumentando a produtividade em 19%. Os resultados também sugerem que a produtividade no verão/outono é maior quando comparada no outono/inverno independentemente do tipo de polinização.



**Figura 3.** Produtividade média (t/ha) avaliada no grupo Santa Cruz (SC) na interação época de plantio x polinização. As barras de erro representam o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas  $p < 0,05$ .

No grupo SA houve efeito significativo na época de plantio para a variável NFP e no tipo polinização para a variável produtividade (Tabela 2). Verificou-se que a variável NFP foi maior na época de outono/inverno do que na época verão/outono independentemente do tipo da polinização (Fig. 4).



**Figura 4.** Número médio de frutos pequenos (NFP) avaliados no grupo Salada (SA) na época de plantio de outono/inverno e verão/outono. As barras de erro representam o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre épocas de plantio  $p < 0,05$ .

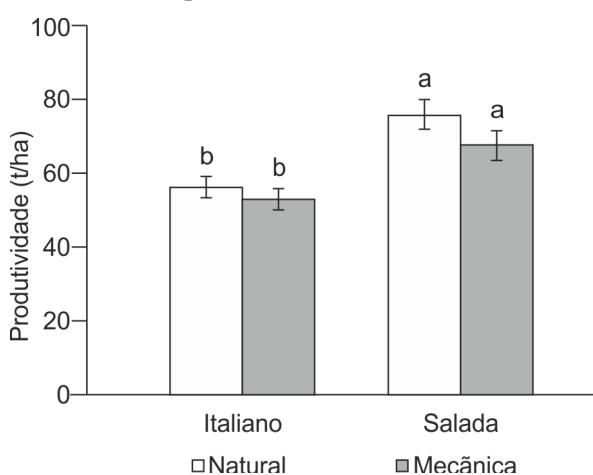
E a polinização mecânica aumentou a produtividade em aproximadamente 26% independente da época do plantio (Fig. 5). As variáveis NFG,

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância, valores de F para as variáveis: número de frutos grandes, médios e pequenos por planta (NFG, NFM, NFP); número total de frutos por planta (NTF); massa de frutos grandes, médios e pequenos por planta (MFG, MFM, MFP) e produtividade mensuradas no grupo varietal Salada (SA) em duas épocas: outono/inverno e verão/outono; e dois tipos de polinização: natural e mecânica.

F.V.	g.l.	F							
		NFG	NFM	NFP	NTF	MFG	MFM	MFP	Produtividade
Bloco	3	<b>6,29*</b>	<b>30,83*</b>	<b>28,4*</b>	<b>38,06*</b>	<b>26,49*</b>	<b>55,23*</b>	<b>16,9*</b>	<b>19,18*</b>
Época	1	0,89	0,01	<b>5,39*</b>	1,75	0,03	0,266	3,01	1,75
Polinização	1	0,02	0,56	3,64	4,49	0,66	0,063	1,46	<b>5,85*</b>
Época x polinização	1	0,02	0,59	2,41	1,46	0,03	0,07	2,12	2,34
Resíduo	9								
Total	15								
cv		21,1	17,0	24,8	10,3	7,4	12,2	24,6	13,4

F.V. fator de variação; g.l.: graus de liberdade; cv: coeficiente de variação. As variáveis que apresentaram significância estatística foram destacadas em negrito e com asterisco (\*) ao lado,  $p < 0,05$ .

NFM, NTF, MFG, MFM e MFP não apresentaram diferenças significativas em nenhum dos fatores ou na interação. Os valores médios foram  $6,9 \pm 4,1$ ;  $6,7 \pm 2,2$ ;  $24,5 \pm 5,1$ ;  $213 \pm 30,4$ ;  $162,9 \pm 42$  e  $96,9 \pm 28,8$  respectivamente.



**Figura 5.** Produtividade média (t/ha) avaliada no grupo Italiano (IT) y Salada (SA) na polinização natural e mecânica. As barras de erro representam o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre tipo de polinização  $p < 0,05$ .

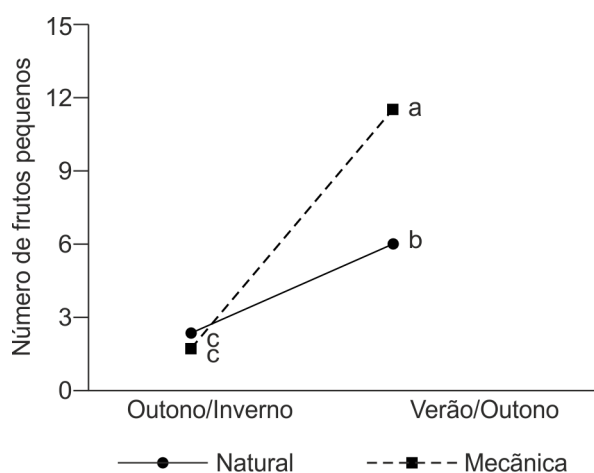
O grupo IT apresentou diferenças significância nas variáveis NTF, MFG e produtividade para o tipo de polinização (Tabela 3) A polinização mecânica aumentou significativamente as variáveis NTF (Fig. 8), MFG (Fig. 9) e produtividade (Fig. 5) em aproximadamente 30 %, 9 % y 36 % respectivamente em relação à polinização natural independentemente da época de plantio. Enquanto as variáveis NFP (Fig. 6) e MFP (Fig. 7) apresentaram interação significativa, portanto são dependentes da época de plantio junto com o tipo de polinização. A polinização mecânica alterou positivamente NFP no verão/outono em quase o dobro da polinização natural (Fig. 6). Em contraste, a MFP foi reduzida em 29 % com a polinização mecânica no verão/outono (Fig. 7). Os resultados também sugerem em termos gerais que a massa (Fig. 7) e o número de frutos pequenos (Fig. 6) são maiores durante o plantio de verão/outono indiferente ao tipo de polinização. As variáveis NFG, NFM e MFM não tiveram efeito significativo em nenhum dos dois fatores nem na interação.

**Tabela 3.** Resumo da análise de variância, valores de F para as variáveis número de frutos grandes, médios e pequenos por planta (NFG, NFM, NFP); número total de frutos por planta (NTF); massa de frutos grandes, médios e pequenos por planta (MFG, MFM, MFP) e produtividade mensuradas no grupo varietal Italiano (IT) em duas épocas: outono/inverno e verão/outono; e dois tipos de polinização: natural e mecânica.

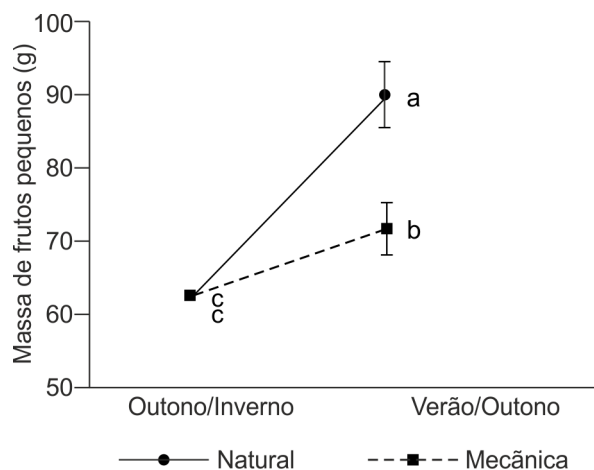
F.V.	g.l.	F							
		NFG	NFM	NFP	NTF	MFG	MFM	MFP	Produtividade
Bloco	3	<b>10,56*</b>	<b>13,58*</b>	<b>41,1*</b>	<b>21,67*</b>	<b>27,74*</b>	<b>27,85*</b>	<b>26,82*</b>	<b>26,06*</b>
Época	1	0,5	1,77	<b>27,7*</b>	4,48	4,4	3,48	<b>10,3*</b>	4,48
Polinização	1	0,95	3,46	2,96	<b>8,18*</b>	<b>5,6*</b>	0,45	0,82	<b>10,24*</b>
Época x polinização	1	0,55	0,63	<b>5,7*</b>	1,24	0,73	3,02	<b>6,24*</b>	0,01
Resíduo	9								
Total	15								
cv		19,3	17,4	24,1	14,5	8,3	7,4	30,78	15,8

F.V.: fator de variação; g.l.: graus de liberdade; cv: coeficiente de variação. As variáveis que apresentaram significância estatística foram destacadas em negrito e com asterisco (\*) ao lado,  $p < 0,05$ .

Os valores médios para essas variáveis foram  $13,7 \pm 5,1$ ;  $10,5 \pm 5,3$  e  $117,4 \pm 18,1$ , respectivamente. Houve efeito significativo para: a época na variável NSV no grupo SC; na época para a variável MSS do grupo IT; e na interação época x polinização para a variável NSV no grupo SA (Tabela 4). A polinização mecânica teve melhor efeito no outono/inverno, aumentando em 68 % o NSV (Fig. 10). Por outro lado, o NSV não mostrou diferenças significativas na temporada de verão/outono nos dois tipos de polinização (Fig. 10).

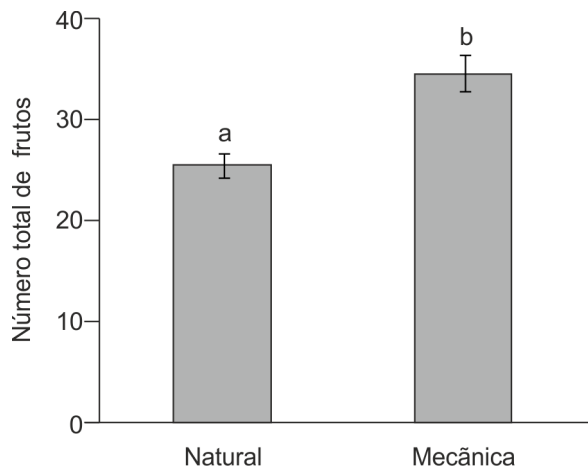


**Figura 6.** Número médio de frutos pequenos (NFP) avaliados no grupo Italiano (IT) na interação época de plantio x polinização. As barras de erro representam o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas  $p < 0,05$ .

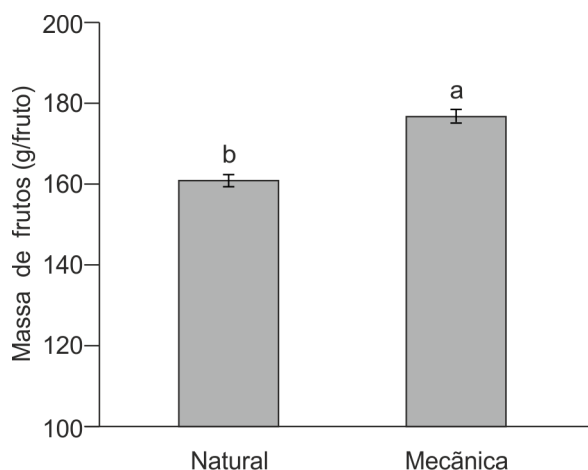


**Figura 7.** Massa média de frutos pequenos (MFP) avaliados no grupo Italiano (IT) na interação época de plantio x polinização. As barras de erro representam o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas  $p < 0,05$ .

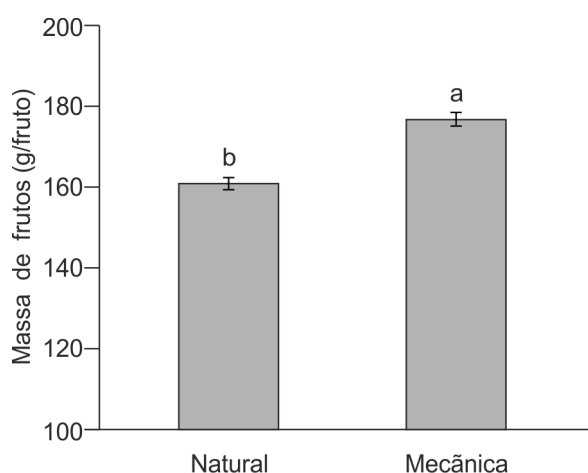
Na Fig. 11, é apresentada a variável NSV avaliada durante as épocas de outono/inverno e verão/outono no grupo SC. Em média, se obteve maior número de sementes para o plantio de outono/inverno, aproximadamente 18 % a mais do que na outra época. Por outro lado, a MSS foi maior 85 %



**Figura 8.** Número total de frutos (NTF) avaliada no grupo Italiano (IT) na polinização natural e mecânica. As barras de erro representam o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre épocas de plantio  $p < 0,05$ .



**Figura 9.** Massa média de frutos grandes (MFG) avaliada no grupo Italiano (IT) na polinização natural e mecânica. As barras de erro representam o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre tipo de polinização  $p < 0,05$ .



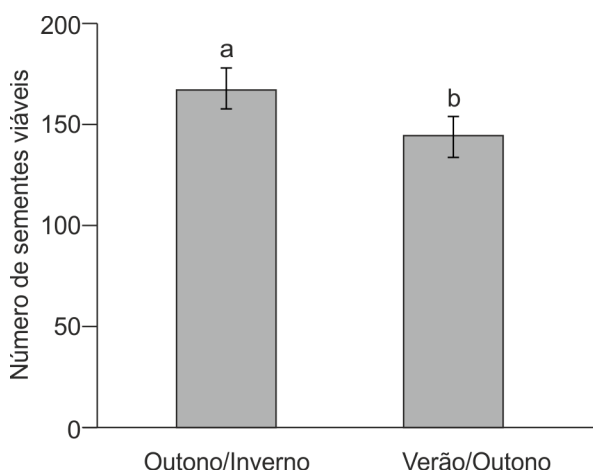
**Figura 10.** Número médio de sementes viáveis (NSV) avaliada no grupo Salada (SA) na interação época de plantio x polinização. As barras de erro representam o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas  $p < 0,05$ .

**Tabela 4.** Resumo da análise de variância, valores de F para as variáveis: número de sementes viáveis por fruto (NSV) e massa seca de 100 sementes (MSS) mensuradas nos grupos varietais Santa Cruz (SC), Salada (SA) e Italiano (IT) em duas épocas: outono/inverno e verão/outono; e dois tipos de polinização: natural e mecânica.

F.V.	g.l.	Santa Cruz		Salada		Italiano	
		NSV	MSS	NSV	MSS	NSV	MSS
Bloco	3	<b>8,09*</b>	0,12	1,29	0,47	0,87	<b>9,17*</b>
Época	1	<b>4,69*</b>	3,07	<b>6,14*</b>	0,36	2,86	<b>0,68*</b>
Polinização	1	1,44	2,2	<b>5,23*</b>	1,73	0,11	0,69
Época x polinização	1	2,2	2,11	<b>5,38*</b>	0,43	0,07	1,04
Resíduo	9						
Total	15						
cv		7,0	13,4	15,7	19,0	13,6	18,6

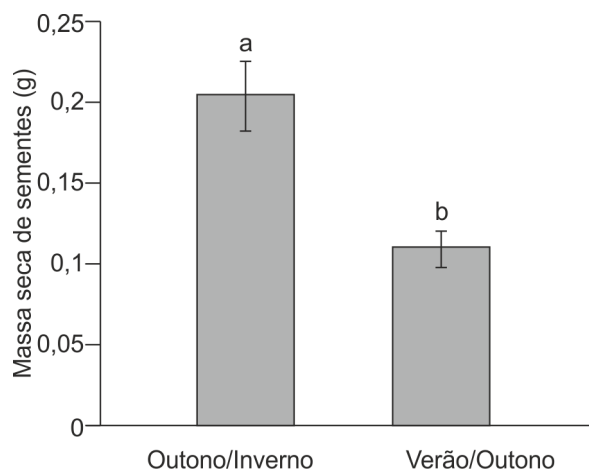
F.V.: fator de variação; g.l.: graus de liberdade; cv: coeficiente de variação. As variáveis que apresentaram significância estatística foram destacadas em negrito e com asterisco (\*) ao lado,  $p < 0,05$ .

na época de outono/inverno quando foi comprada com o verão/outono no grupo IT (Fig. 12). As variáveis NSV em IT e MSS em SC e SA e não tiveram efeito significativo em nenhum dos dois fatores nem na interação.



**Figura 11.** Número médio de sementes viáveis (NSV) avaliados no grupo Santa Cruz (SC) na época de plantio de outono/inverno e verão/outono segundo análise de variância. As barras de erro representam o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre épocas de plantio  $p < 0,05$ .

. Os valores médios para essas variáveis foram  $131 \pm 18,4$ ;  $0,20 \pm 0,5$  e  $0,22 \pm 0,3$  respectivamente. Para a maioria nas variáveis (Tabela 1, 2, 3 y 4), os blocos apresentaram significância estatística, o que mostra que o delineamento experimental utilizado foi adequado para bloquear a fonte do erro correspondente, neste caso à inclinação do terreno.



**Figura 12.** Massa seca média de sementes (MSS) no grupo Italiano (IT) na época de plantio de outono/inverno e verão/outono segundo análise de variância. As barras de erro representam o erro padrão. Letras diferentes indicam diferenças significativas entre épocas de plantio  $p < 0,05$ .

## Discussão

A maior produtividade encontrada em o grupo SC aconteceu durante o plantio de verão/outono independentemente do tipo de polinização (Fig. 3). A produtividade foi favorecida pelo aumento no número de frutos classificados como pequenos (Fig. 1) e pelo aumento da MFP, MFM e MFG (Fig. 2). Essa variedade apresentou um alto acúmulo de biomassa nos frutos dos diferentes calibres e um alto pegamento de frutas que levou a um maior número de frutos pequenos produzidos, resultados concordantes com estudos que mostram a alta relação entre estas duas variáveis com a produtividade (Vivian *et al.*, 2015). Palma *et al.* (2007) verificaram que a maior atividade de insetos polinizadores na cultura do tomate ocor-

re na faixa de temperatura entre 20 °C e 28 °C, portanto a temperatura média presente na época verão/outono (23 °C) e umidade relativa média (78 %) favoreceram a polinização entomófila. Por sua parte, Llanos *et al.*, (2015) encontraram que fisiologicamente a alocação de biomassa aos frutos aumenta com a temperatura, pois tem um efeito direto na iniciação de flores, fixação, crescimento de frutos e com atividade metabólica da planta em geral (Adams *et al.*, 2001).

Em termos gerais, o grupo SC apresentou maior produtividade no verão/outono independentemente do tipo da polinização, no entanto, houve um aumento significativo na produtividade no outono/inverno por uma maior vibração das flores do tomateiro como efeito da polinização mecânica (Fig. 3). A baixa temperatura e a alta umidade relativa presentes no outono/inverno dificultam a atividade dos insetos polinizadores, em consequentemente os processos de polinização e fertilização da oosfera (Pressman *et al.*, 1999; Daşgan *et al.*, 2004).

Por sua parte, Cuéllar *et al.* (2001) com o uso da vibração elétrica nas flores do tomateiro, aumento a produtividade/planta em 34 %. Esses resultados apresentaram similaridade com nossos resultados; onde a produtividade aumentou com polinização mecânica em 26 % e 36 % (Fig. 5) para os grupos SA e IT respectivamente independentemente da época e em 19 % para o grupo SC durante o plantio de outono/inverno (Fig. 3). Aparentemente a polinização mecânica por um lado ajudou a melhorar a fixação dos frutos e, por outro lado, estimulou a biossíntese de hormônios que favoreciam seu crescimento (Higuti *et al.*, 2010; Sagar *et al.*, 2013; Su *et al.*, 2015).

Da mesma forma que o grupo SA, no grupo IT a maior produtividade se apresentou com a polinização mecânica (Fig. 5) e aconteceu como consequência do aumento de NTF (Fig. 8) e de MFG (Fig. 9). Após o processo de polinização, as plantas iniciam um processo de partição da matéria seca em direção aos frutos (Higashide *et al.*, 2015), que neste caso a alocação de fotoassimilados foi em direção aos frutos grandes o que permitiu um aumento de sua massa. Possivelmente o ganho de massa nos frutos grandes sem afetar a massa dos outros calibres foi dada graças ao plano equilibrado de fertilização e à irrigação fornecida à cultivo. Se este manejo não tivesse ocorrido e temendo em conta o elevado demanda de nutrientes e água das plantas, possivelmente as plantas

teriam abortado frutas ou as frutas grandes não teriam ganhado peso. Por outro lado, uma resposta diferente foi observada na polinização mecânica realizada no grupo de IT no verão/outono, na qual houve um equilíbrio na alocação de fotoassimilados, representado pelo aumento do NFP (Fig. 6) em detrimento da MFP (Fig. 7).

O grupo SA produziu maior número de frutos pequenos na época do plantio outono/inverno em relação à época verão/outono independentemente do tipo de polinização (Fig. 4). Esses resultados podem ser devidos ao fato que as condições de baixa temperatura e alta umidade relativa no época outono/inverno provavelmente estimularam uma maior produção de flores e frutos fixados no terço superior, lugar da planta onde é produzida a maior quantidade de frutos de menor calibre, responsáveis por aproximadamente 12,6 % da produtividade total da planta (Perin *et al.*, 2018). Esta área é facilmente acessível por insetos polinizadores que auxiliaram no processo de fertilização dos ovários das flores tendo em conta que SA apresenta maior adensamento foliar comparado com os demais híbridos (Otoni *et al.*, 2015); esta característica poderia criar barreiras que dificultem o acesso ao terço inferior e médio.

Na literatura é reportada relação positiva entre o número de sementes e a produtividade (Dogterom *et al.*, 1998; Cuéllar *et al.*, 2001; Higuti *et al.*, 2010a). Quanto maior o número de sementes desenvolvidas, maior será o efeito hormonal e consequentemente maior a produtividade de frutos (Vergara e Fonseca-Buendía, 2012). No entanto, os resultados encontrados em SC e IT contradizem esse fenômeno. Nossas descobertas sugerem que as condições ambientais no outono/inverno estimularam o aumento de NSV (Fig. 11) e MSS (Fig. 12) nos grupos SC e IT respectivamente. No caso de SC a massa dos frutos dos três tamanhos diminuiu (Fig. 2) e em IT NFP (Fig. 6) e MFP foi mantido (Fig. 7), portanto a relação entre produção de sementes e produtividade não é tão evidente. Esses resultados supõem que as condições ambientais presentes no época de outono/inverno não são fisiologicamente as melhores para as plantas de tomate, estimulando a translocação das substâncias como proteínas, açúcares e lipídios para as sementes para favorecer sua viabilidade e germinação diante uma situação de possível estresse (Dias, 2001; Dorcey *et al.*, 2009; Medina *et al.*, 2013; Obroucheva, 2014; Serrani e Ruiz-Rivero, 2008).

Por outro lado, o grupo SA apresentou uma res-



posta diferente, a polinização mecânica aumentou significativamente o NSV na época outono/inverno em aproximadamente 68 % (Fig. 10), estação em que a incidência de insetos polinizadores é baixa. Consequentemente a polinização mecânica complementa o processo de polinização natural, favorecendo a liberação do pólen que vai ser depositado no estigma, o que leva ao incremento na taxa de fertilização das oosferas e posterior formação das sementes. Estes resultados concordam com os achados de vários autores que encontraram que a vibração da flor faz com que maior quantidade de grãos de pólen seja depositada no estigma (Aldana et al., 2007; Cuéllar et al., 2001; Santos, 2014). Neste caso, na relação encontrada entre o aumento de NFP (Fig. 4) e da produtividade (Fig. 5) em SA em resposta do aumento da NSV (Fig. 10) sustentam sua hipótese da Shinozaki et al. (2015) e Serrani e Ruiz-Rivero (2008) que argumentam que o processo de formação de sementes estimulam crescimento e produtividade do tomate.

### Conclusões

A polinização mecânica afeita a alocação de recursos em frutos de tomate em diferentes proporções e nos diferentes componentes de produção: número e massa de frutos, nessa ordem de ideias, a produtividade variou dependendo das variedades e das épocas de plantio. Portanto, a polinização mecânica como prática complementar em cultivos realizados a pleno sol atua eficientemente nos grupos varietais SA e IT aumentando a produtividade em 26 % e 36 % respectivamente independentemente da época de plantio, e no grupo SC durante a época de outono/inverno aumenta a produtividade em 19 %. Isso significa que esse tipo de polinização pode ser usado como uma prática agrônômica para melhorar significativamente a produtividade de acordo com cada caso particular.

Ressalta-se que a polinização mecânica pode ser uma prática sustentável que se ajusta aos grupos avaliados e que cria benefícios econômicos no curto prazo com mínimos efeitos ambientais, no entanto, é importante realizar uma análise econômica de custo / benefício desta técnica, uma vez que, para realizá-la, o uso de mão de obra é aumentado, por isso também é essencial avaliar dispositivos de maior escala para melhorar a rentabilidade.

### Obrigado

Nicolas A. Osorio agradece à Universidade Federal de Viçosa e aos professores CN Gomes e EA de Toledo Picoli por direcionar sua dissertação de mestrado. Os demais autores por suas contribuições na realização do trabalho de pesquisa e à Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA pelo financiamento da participação de pesquisadores vinculados à Corporação na elaboração deste documento. Este estudo foi realizado com recursos da CAPES e FAPEMIG.

### Referências

- Aldana J., Cure J.R., Almanza M.T., Vecil D., Rodríguez D. (2007). Effect of *Bombus atratus* (Hymenoptera: *Apidae*) on tomato production (*Lycopersicon esculentum* Mill.) in greenhouse in Bogotá plateau, Colombia. *Agronomía Colombiana*, 25 (1): 62-72.
- Alvarenga M.A.R. (2013). Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia. Editora: Lavras -UFLA, Brasil.
- Ariizumi T., Shinozaki Y., Ezura H. (2013). Genes that influence yield in tomato. *Breeding Science* 63 (1): 3-13.
- Cardoso A.I.I. (2007). Produção de pimentão com vibração das plantas. *Ciência e Agrotecnologia* 31 (4): 1061-1066.
- Carrizo Garcia C., Matesevach M., Barboza G. (2008). Features related to anther opening in *Solanum* species (Solanaceae). *Botanical Journal of the Linnean Society* 158 (2): 344-354.
- Cuéllar J., Cooman A., Arjona H. (2001). Incremento de la productividad del cultivo de tomate bajo invernadero mejorando la polinización. *Agronomía Colombiana* 18 (1-3): 39-45.
- Daşgan H.Y., Özdoğan A.O., Kaftanoğlu O., Abak K. (2004). Effectiveness of bumblebee pollination in anti-frost heated tomato greenhouses in the Mediterranean basin. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 28 (2): 73-82.
- De Luca P.A., Vallejo-Marín M. (2013). What's the 'buzz' about? The ecology and evolutionary significance of buzz-pollination. *Current Opinion in Plant Biology* 16 (4): 429-435.
- Dogterom M.H., Matteoni J.A., Plowright R.C. (1998). Pollination of greenhouse tomatoes by the North American *Bombus vosnesenskii* (Hymenoptera: *Apidae*). *Journal of Economic Entomology* 91 (1): 71-75.
- Dorcey E., Urbez C., Blázquez M.A., Carbonell J., Perez-Amador M.A. (2009). Fertilization-dependent auxin response in ovules triggers fruit development through the modulation of gibberellin metabolism in

- Arabidopsis*. The Plant Journal 58 (2): 318-332.
- Elias M.D.S. (2016). Ameaças da perturbação antrópica a abelhas nativas polinizadoras do tomateiro. PhD tese, Universidade de Brasília, Brasília, Brazil. Em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1062529/1/2016MarcosAntoniodaSilvaElias1.pdf>, acessado: agosto 2018.
- Ferreira D.F. (2000) Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. 45a Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade internacional de Biometria. UFSCar. Julho de 2000, São Carlos, Brasil. Pp. 255-258.
- Gillaspy G., Ben-David H., Gruissem W. (1993). Fruits: a developmental perspective. The Plant Cell 5 (10): 1439.
- Goulson D. (2010). Bumblebees: behaviour, ecology, and conservation. Oxford University Press, Grã-Bretanha.
- Harder L.D., Barclay R.M.R. (1994). The functional significance of poricidal anthers and buzz pollination: controlled pollen removal from Dodecatheon. Functional Ecology 8 (4): 509-517.
- Higashide T., Yasuba K.I., Kuroyanagi T., Nakano A. (2015). Decreasing or non-decreasing allocation of dry matter to fruit in Japanese tomato cultivars in spite of the increase in total dry matter of plants by CO<sub>2</sub> elevation and fogging. Em: The Horticulture Journal Preview, [https://www.jstage.jst.go.jp/article/hortj/advpub/0/advpub\\_MI-010/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/hortj/advpub/0/advpub_MI-010/_pdf/-char/ja), acessado: agosto 2018.
- Higuti A.R.O., Godoy A.R., Salata A.D.C., Cardoso A.I.I. (2010). Tomato production in function of plant" vibration". Bragantia 69 (1): 87-92.
- Llanos H.B., Gutiérrez C.R.D.C., Cárdenas M.G. (2015). Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales 2 (1): 76-86.
- Medina M., Roque E., Pineda B., Cañas L., Rodríguez-Concepción M., Beltrán, J.P., Gómez-Mena C. (2013). Early anther ablation triggers parthenocarpic fruit development in tomato. Plant Biotechnology Journal 11 (6): 770-779.
- Melo P.C. (2014). Avanços recentes na tomaticultura de mesa associadas a mudanças no paradigma tecnológico e desafios a superar. 5º Seminário Nacional de Tomate de Mesa (5º SNTM). Em: < <http://www.tomatedemesa.com.br/2014/noticia01.html>>, acessado: agosto 2018.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (2002). Capítulo IV do Regulamento de Defesa Sanitária Vegetal, Instrução normativa nº 2, de 9 de janeiro de 2002. Em: 5 de agosto de 2019. <http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=676470135>.
- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Brasil (2009). Regras para análise de sementes. Brasília, Brasil. Em: 5 de agosto de 2019. <http://www.cigras.ucr.ac.cr/phocodownload/Semillas/RAS%20NOVA.pdf>.
- Nahir D., Gan-Mor S., Rylski I., Frankel H. (1984). Pollination of tomato flowers by a pulsating air jet. Transactions of the ASAE 27 (3): 894-896.
- Otoni B.D.S., da Mota W.F., Belfort G.R., Silva A.R.S., Vieira J.C.B., de Souza Rocha L. (2015). Produção de híbridos de tomateiro cultivados sob diferentes porcentagens de sombreamento. Ceres 59 (6): 816-825.
- Palma G., Quezada-Euán J.J.G., Meléndez-Ramírez V., Irigoyen J., Valdovinos-Nuñez G.R., Rejón M. (2008). Comparative efficiency of *Nannotrigona perilampoides*, *Bombus impatiens* (Hymenoptera: Apoidea), and mechanical vibration on fruit production of enclosed habanero pepper. Journal of Economic Entomology 101 (1): 132-138.
- Pereira-Carvalho R.D.C., Tobar L., Dianese E.D.C., Fonceca M., Boiteux L. (2015). Melhoramento genético do tomateiro para resistência a doenças de etiologia viral: avanços e perspectivas. Em: <https://repositorio.bc.ufg.br/bitstream/ri/14209/5/Artigo%20-%20Rita%20de%20Cássia%20Pereira-Carvalho%20-%202014.pdf>, acessado: agosto 2018.
- Perin L., Nogueira Peil R.M., Höhn D., Kletke De Oliveira F., Anibele Streck E., Radtke Wieth A., Grolli, P.R. (2018). Clasificación de frutos de tomates Cereza y Grape bajo diferentes sistemas de cultivo e intensidades de deshojado. Idesia (Arica) 36 (2): 143-151.
- Pressman E., Shaked R., Rosenfeld K., Hefetz A. (1999). A comparative study of the efficiency of bumble bees and an electric bee in pollinating unheated greenhouse tomatoes. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 74 (1): 101-104.
- Ribeiro A.C., Guimarães P.T.G., Alvarez V.H. (1999). Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais. Editora: SBCS, Brasil.
- Sagar M., Chervin C., Mila I., Hao Y., Roustan J.P., Benichou M., Pech J.C. (2013). SIARF4, an auxin response factor involved in the control of sugar metabolism during tomato fruit development. Plant Physiology 161 (3): 1362-1374.
- Santos A.O.R., Bartelli B.F., Nogueira-Ferreira F.H. (2014). Potential pollinators of tomato, *Lycopersicon esculentum* (Solanaceae), in open crops and the effect of a solitary bee in fruit set and quality. Journal of Economic Entomology 107 (3): 987-994.
- Serrani J.C., Ruiz-Rivero O., Fos M., García-Martínez J.L. (2008). Auxin-induced fruit-set in tomato is mediated in part by gibberellins. The Plant Journal 56 (6): 922-934.
- Shinozaki Y., Hao S., Kojima M., Sakakibara H., Ozeki-Iida Y., Zheng Y., Okabe Y. (2015). Ethylene

- suppresses tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit set through modification of gibberellin metabolism. *The Plant Journal* 83 (2): 237-251.
- Silva P.N., Hrcir M., Fonseca V.L.I. (2010). A polinização por vibração. *Oecologia Australis* 14 (1): 140-151.
- Srivastava A., Handa A.K. (2005). Hormonal regulation of tomato fruit development: a molecular perspective. *Journal of Plant Growth Regulation* 24 (2): 67-82.
- Su L., Diretto G., Purgatto E., Danoun S., Zouine M., Li Z., Chervin C. (2015). Carotenoid accumulation during tomato fruit ripening is modulated by the auxin-ethylene balance. *BMC Plant Biology* 15 (1): 114.
- Vanbergen A.J., Initiative T.I.P., Evans D.J. (2013). Threats to an ecosystem service: pressures on pollinators. *Frontiers in Ecology and the Environment* 11 (5): 251-259.
- Velthuis H.H. (2002). The historical background of the domestication of the bumble-bee, *Bombus terrestris*, and its introduction in agriculture. Em: *Pollinating Bees-The conservation link between agriculture and nature*. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.540.914&rep=rep1&type=pdf>, acessado: agosto 2018.
- Vergara C.H., Fonseca-Buendía P. (2012). Pollination of greenhouse tomatoes by the Mexican bumblebee *Bombus ephippiatus* (Hymenoptera: Apidae). *Journal of Pollination Ecology* 7 (4): 27-30.
- Vivian R., Rocha A., Galvão H.L., Martinez H.E.P., Pereira P.R.G., Fontes P.C.R. (2015). Densidade de plantio e número de folhas influenciando a produtividade e qualidade de frutos do tomateiro cultivados com um cacho, em sistema hidropônico. *Ceres* 55 (6): 584-589.