



**MANNON ALICE SANTOS DE CASTRO**

**INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO E PRODUÇÃO DE  
SEMENTES BOTÂNICAS EM ALHO**

**LAVRAS-MG  
2021**

**MANNON ALICE SANTOS DE CASTRO**

**INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO E PRODUÇÃO DE SEMENTES BOTÂNICAS  
EM ALHO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Valter Carvalho de Andrade Júnior  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2021**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

De Castro, Mannon Alice Santos.

Indução de florescimento e produção de sementes botânicas em  
alho / Mannon Alice Santos De Castro. - 2021.

56 p. : il.

Orientador(a): Valter Carvalho de Andrade Júnior.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2021.

Bibliografia.

1. *Allium sativum*. 2. Giberelina. 3. Paclobutrazol. I. Andrade  
Júnior, Valter Carvalho de. II. Título.

**MANNON ALICE SANTOS DE CASTRO**

**INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO E PRODUÇÃO DE SEMENTES BOTÂNICAS  
EM ALHO**

**FLOWERING INDUCTION AND PRODUCTION OF BOTANIC SEEDS IN GARLIC**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Fitotecnia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

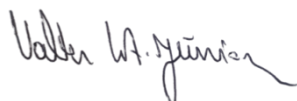
APROVADA em 30 de setembro de 2021.

Prof. Dr. Thiago Alves Magalhães

UFLA

Dr. Francisco Vilela Resende

EMBRAPA



Prof. Dr. Valter Carvalho de Andrade Júnior  
Orientador

**LAVRAS-MG  
2021**

*À minha família, em especial aos meus pais Gleide e Saulo, por darem o máximo de si para  
que eu chegasse até aqui.*

*Dedico*

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por me guiar nesta trajetória, transformando os obstáculos em novas oportunidades, e por sempre me dar forças para nunca desistir.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, pela oportunidade de realizar meu Mestrado.

Ao professor e orientador Valter Carvalho de Andrade Júnior, pelos ensinamentos compartilhados, paciência, apoio, e por toda a orientação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de Mestrado.

Ao professor Thiago Alves Magalhães, do Departamento de Biologia, pela orientação nas avaliações das estruturas reprodutivas do alho, sou grata por toda a paciência e ensinamento compartilhado.

Ao professor Júlio Sílvio de Sousa Bueno Filho, do Departamento de Estatística, pelo auxílio junto às questões estatísticas do experimento.

Ao pós-doutorando Orlando Gonçalves Brito, do Departamento de Agricultura, por toda a ajuda durante a condução do experimento e na escrita da dissertação.

Aos professores do Programa de Pós-graduação em Agronomia/Fitotecnia, pelos conhecimentos compartilhados.

À técnica do setor, Stéfany, e ao Valdeci, pela ajuda desde a implantação até as avaliações do experimento. Sou muito grata por toda a contribuição.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa em Hortaliças Tuberosas, Ariana, André, Eduardo, Francisco, Jeferson, Maria Elisângela e Orlando, pelo tempo que convivemos juntos, aos ensinamentos transmitidos e por toda a ajuda na condução do experimento.

Aos meus pais Saulo e Gleide, que durante todos esses anos, sempre foram meu alicerce, me apoiando e incentivando. Eu amo e admiro muito vocês, obrigada por me concederem a oportunidade de trilhar essa jornada e por sempre lutarem por mim!

Aos meus irmãos Sophia e Saulo Henrique, agradeço por todo o amor e apoio que sempre me deram.

Aos meus queridos avós Rosa e Aristides, por sempre acreditarem que seria possível e me incluírem em suas orações.

Ao Guilherme, que esteve comigo desde o início, me apoiando e incentivando com tudo que se fez necessário.

Agradeço aos amigos e a todos que direta ou indiretamente contribuíram para eu ser quem sou hoje.

Muito obrigada!

*“Por vezes sentimos que aquilo que fazemos não é, senão, uma gota d’água no oceano. Mas o oceano seria menor se lhe faltasse uma gota.” (Madre Teresa de Calcutá)*

*“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém pensou sobre aquilo que todo mundo vê.” (Arthur Schopenhauer)*



## RESUMO

O alho é uma hortaliça propagada de forma assexuada, pois devido ao processo de domesticação, à evolução da espécie e a seleção de genótipos com potencial produtivo, ele perdeu a capacidade de produzir sementes. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho, avaliar o efeito da aplicação de indutores de florescimento em diferentes estádios fenológicos do alho sobre a indução do florescimento e produção de sementes botânicas. O experimento foi implantado na área experimental do setor de olericultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), município de Lavras, MG, em abril de 2020. Foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. O ensaio foi constituído por um fatorial duplo (7x3), sendo sete doses de indutores de florescimento – GA<sub>3</sub> e PBZ (3,5 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>; 9 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>; 18 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>; 480 mg L<sup>-1</sup> de PBZ; 3.600 mg L<sup>-1</sup> de PBZ; 7.200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ; testemunha sem indutor de florescimento) e três épocas de aplicações (antes da diferenciação do escapo floral, quando a planta estiver com quatro folhas; no início da emissão do escapo floral; e no início da formação da umbela). Foram avaliadas a altura das plantas no florescimento, número de folhas no florescimento, comprimento do escapo floral, número de topsets por umbela, total de flores por umbela, relação flores/topsets, dias até a antese, porcentagem de plantas que produziram escapo, porcentagem de plantas que produziram umbelas, total de umbelas com sementes, total de sementes por unidade experimental, porcentagem de plantas com sementes. Avaliou-se também a viabilidade dos grãos de pólen e a receptividade do estigma. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F (p<0,05). Quando necessário, foram realizadas as transformações Box-cox e Rank. Na presença de significância, as médias foram agrupadas pelo critério de Scott-Knott para as épocas de aplicação e para os diferentes indutores de florescimento, à 5% de significância. Houve influência negativa do PBZ sobre as variáveis relacionadas ao florescimento, reduzindo a porcentagem de plantas com escapo (PPE), porcentagem de plantas com umbelas (PPU) e a relação flores/topsets (RFT). As doses de 18 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> e de 7.200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ aplicadas durante a formação da umbela aumentaram a receptividade do estigma (RE). A aplicação de GA<sub>3</sub> no início da emissão do escapo floral aumentou a porcentagem de plantas com umbelas (PPU). A dose de PBZ de 7.200 mg L<sup>-1</sup>, aplicada antes da diferenciação do escapo aumentou a produção de sementes botânicas. O genótipo RAL 159 possui capacidade natural para a produção de sementes botânicas em pequenas quantidades, sem a necessidade de aplicação exógena de fitormônios. O trabalho deve ser repetido com foco nas aplicações antes da diferenciação e durante a emissão do escapo, com doses mais elevadas de GA<sub>3</sub> e PBZ.

Palavras-chave: *Allium sativum* L. Giberelina. Paclobutrazol.

## ABSTRACT

Garlic is an asexually propagated vegetable, because due to the domestication process, the evolution of the species and selection of genotypes with productive potential, it lost the ability to produce seeds. Thus, the objective of this work was to evaluate the effect of applying flowering inducers at different phenological stages of garlic on flowering induction and production of botanical seeds. The experiment was implemented in the experimental area of the horticulture sector of the Federal University of Lavras (UFLA), municipality of Lavras, MG, in April 2020. It was carried out in a randomized block design (DBC), with four replications. The test consisted of a double factorial (7x3), with seven doses of flowering inducers - GA<sub>3</sub> and PBZ (3.5 mg L<sup>-1</sup> of GA<sub>3</sub>; 9 mg L<sup>-1</sup> of GA<sub>3</sub>; 18 mg L<sup>-1</sup> of GA<sub>3</sub>; 480 mg L<sup>-1</sup> of PBZ; 3600 mg L<sup>-1</sup> of PBZ; 7200 mg L<sup>-1</sup> of PBZ; control without flowering inducer) and three application times (before the differentiation of the floral scape, when the plant has four leaves; at the beginning of floral scape emission; and at the beginning of umbel formation). Plant height at flowering, number of leaves at flowering, length of floral scape, number of topsets per umbel, total flowers per umbel, flower/topset ratio, days to percentage of plants that produced scape, percentage of plants that produced umbels, total umbels with seeds, total seeds per experimental unit, percentage of plants with seeds. Also record the pollen grain viability and stigma receptivity. Data were prepared by analysis of variance using the F test (p<0.05). When necessary, they were performed as Box-cox and Rank transformations. In the presence of significance, the means were grouped by the Scott-Knott criterion for application times and for the different flowering inducers, at 5% significance. There was a negative influence of PBZ on variables related to flowering, reducing the percentage of plants with scape (PPE), percentage of plants with umbels (PPU) and the flower/topset ratio (RFT). The doses of 18 mg L<sup>-1</sup> of GA<sub>3</sub> and 7,200 mg L<sup>-1</sup> of PBZ applied during umbel formation increased the stigma receptivity (SR). The application of GA<sub>3</sub> at the beginning of floral scape emission increased the percentage of plants with umbels (PPU). The PBZ dose of 7,200 mg L<sup>-1</sup>, applied before scape differentiation increased the production of botanical seeds. The RAL 159 genotype has a natural capacity to produce botanical seeds in small quantities, without the need for exogenous application of phytohormones. The work should be repeated with a focus on applications before differentiation and during scape emission, with higher doses of GA<sub>3</sub> and PBZ.

Keywords: *Allium sativum* L. Gibberellin. Paclobutrazol.

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 2

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 - Temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa e precipitação no município de Lavras-MG, referentes ao período de maio de 2020 a janeiro de 2021..... | 37 |
| Figura 2 - Porcentagem de plantas que produziram escapos (PPE) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021. ..    | 42 |
| Figura 3 - Porcentagem de plantas com umbelas (PPU) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021. ....             | 44 |
| Figura 4 - Relação flores/topsets (RFT) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021.....                          | 46 |
| Figura 5 - Dias até antese (DA) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021.....                                  | 47 |
| Figura 6 - Receptividade do estigma (RE) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021.....                         | 48 |
| Figura 7 - Total de sementes (TS) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021.....                                | 50 |

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 2

- Tabela 1 - Análise química do solo utilizado no experimento..... 38
- Tabela 2 - Significância do p-valor e coeficiente de variação para as características altura de planta (AP), número de folhas (NF), comprimento de escapo (CE), porcentagem de plantas com escapo (PPE), porcentagem de plantas com umbelas (PPU), total de topsets (TT), total de flores (TF), relação flores/topsets (RFT), dias até a antese (DA), receptividade do estigma (RE), grãos de pólen viáveis em corante carmim acético (GPVCA) e grãos de pólen viáveis em corante solução de Alexander (GPVSA), total de umbelas com sementes (TUS), total de sementes (TS), porcentagem de plantas com sementes (PPS), porcentagem de umbela com sementes (PUS) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021. 41

## SUMÁRIO

|            |   |           |
|------------|---|-----------|
|            | <b>CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>13</b> |
| <b>2</b>   | <b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>   | <b>15</b> |
| <b>2.1</b> | <b>A cultura do alho.....</b>   | <b>15</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Cultivo, fisiologia e exigências edafoclimáticas do alho.....</b>  | <b>17</b> |
| <b>2.3</b> | <b>Florescimento.....</b>   | <b>18</b> |
| <b>2.4</b> | <b>Esterilidade do alho .....</b>   | <b>21</b> |
| <b>2.5</b> | <b>Uso de fitormônios na reversão da esterilidade.....</b>  | <b>23</b> |
| <b>2.6</b> | <b>Produção de sementes botânicas.....</b>  | <b>25</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>27</b> |
|            | <b>CAPÍTULO 2 INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO E PRODUÇÃO DE<br/>SEMENTES BOTÂNICAS EM ALHO COM O USO DE INDUTORES DE<br/>FLORESCIMENTO .....</b> | <b>33</b> |
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>2</b>   | <b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>  | <b>37</b> |
| <b>3</b>   | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>41</b> |
| <b>4</b>   | <b>CONCLUSÕES .....</b>   | <b>52</b> |
|            | <b>REFERÊNCIAS .....</b>  | <b>53</b> |

## CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

### 1 INTRODUÇÃO

A produção e o consumo mundial de alho (*Allium sativum* L.) tem aumentado de forma expressiva nos últimos anos, especialmente no Brasil (FAOSTAT, 2021). Todavia, embora boa parte dos bulbos produzidos nacionalmente sejam de alta qualidade, a produção ainda é incipiente para atender toda a demanda nacional, tornando-se necessário a importação de alho, principalmente da China e Argentina (ANAPA, 2020). O alto custo de produção e a dificuldade em suprir a crescente demanda nacional favorecem a competição externa, comprometendo a competitividade dos produtores brasileiros (SILVA, 2017; ANAPA, 2020).

O elevado custo de produção no Brasil ocorre, principalmente, pelas tecnologias utilizadas para produção do alho, como vernalização, manejo hídrico e fitossanitário, além do grande volume de mão de obra empregada para o plantio, colheita e beneficiamento (SAMAVATEAN; RAFIEE; MOBILI, 2011; SILVA, 2017). Por outro lado, a qualidade dos bulbos importados é inferior em comparação ao mercado interno, e o custo de produção e o preço final dos produtos são menores, tornando este produto mais atrativo economicamente ao consumidor (RESENDE *et al.*, 2013).

A propagação assexuada do alho pelos produtores ocorre através da utilização dos bulbilhos, plantados de forma manual (SHEMESH-MAYER; GOLDSTEIN, 2018). O plantio manual é importante, já que o plantio mecanizado atrasa a emergência dos bulbilhos, promovendo desuniformidade e redução do estande. Por se tratar de propagação vegetativa, há um acúmulo de viroses nos bulbos, o que reduz a produtividade ao longo dos cultivos (SASTRY, 2013). Logo, para manutenção de altas produtividades, é necessário realizar a eliminação dos vírus dos bulbilhos, através da propagação *in vitro*, elevando ainda mais o custo de produção devido ao aumento do custo do alho semente (CARVALHO *et al.*, 2017).

Uma forma de buscar aumentar a rentabilidade e competitividade do alho nacional é a seleção de genótipos com potencial de florescimento e produção de sementes. A reprodução sexuada do alho permite aumentar a variabilidade genética, facilitando a seleção de genótipos com produtividades superiores (SHEMESH-MAYER; GOLDSTEIN, 2018). A semente verdadeira também pode funcionar como um filtro para vírus, eliminando a necessidade da micropropagação para obtenção de plantas livres de vírus, além de permitir a identificação de resistência às principais viroses na cultura (RUBIO; GALIPIENSO; FERRIOL, 2020). Esse método de propagação também reduz o custo de produção, uma vez que se torna possível

realizar o plantio de forma mecanizada, diminuindo a demanda de mão de obra (CASTELLANOS *et al.*, 2004). Entretanto, a maioria dos genótipos de alho cultivados atualmente não florescem, e quando desenvolvem inflorescências, estas possuem bulbilhos aéreos que se formam no lugar das flores, denominados topsets, e poucas flores que geralmente não originam sementes (KAMENETSKY, 2007; ROTEM *et al.*, 2007). Logo, é importante a busca por genótipos promissores ao florescimento e produção de sementes botânicas no alho, ou mesmo por práticas fitotécnicas que induzam isto na cultura do alho.

A indução do florescimento e seleção de genótipos com melhores aptidões para essa característica é um processo complicado, pois o florescimento ocorre devido a interação entre o genótipo e o ambiente (MATHEW *et al.*, 2011; MICHAEL *et al.*, 2018). O florescimento e a produção de sementes podem ser limitados, como em outras culturas, por diversos fatores, como o fotoperíodo, temperatura, vernalização em pré-plantio, a concorrência das flores com topsets, esterilidade feminina, esterilidade masculina e esterilidade completa das flores, balanço hormonal da planta (SHEMESH-MAYER; GOLDSTEIN, 2018).

A interação genótipo x ambiente (G x E) influencia diretamente no balanço hormonal das plantas, podendo inibir ou estimular o florescimento, controlando o pegamento floral e, conseqüentemente, a produção de sementes (KOVALEVA *et al.*, 2017; KURUSU *et al.*, 2017). As interações hormonais podem estar diretamente envolvidas na correta formação dos grãos de pólen, com concentrações distintas dos fitormônios na antera. em cada estágio de desenvolvimento (HIRANO *et al.*, 2008). Em culturas como arroz e arabidopsis, que possuem problemas na formação floral semelhantes a do alho, verificou-se a influência do balanço entre giberelina e citocinina na formação de flores viáveis (CHENG *et al.*, 2004; KURUSU *et al.*, 2017). Para a regulação do florescimento e produção de sementes em diversas culturas, aplicações exógenas de giberelina ativa (GA<sub>3</sub>) e paclobutrazol (que promove a inibição da síntese de giberelina) são realizadas (KARAGÜZEL; BAKTIR; 2008; AYA *et al.*, 2009). Na cultura do alho, há poucos trabalhos sobre a influência do conteúdo hormonal e a aplicação exógena de hormônios no florescimento e produção de sementes, o que reforça a necessidade de pesquisas com este objetivo na cultura.

Em virtude desses problemas e da escassez de trabalhos, objetivou-se com esse estudo avaliar o efeito da aplicação de indutores de florescimento sobre o florescimento e produção de sementes botânicas na cultura do alho.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura do alho

O alho (*Allium sativum* L.) é uma espécie da família Aliaceae, originária da Ásia Central e mundialmente difundida (ETOH; WATANABE; IWAI, 2001). Possui um ciclo bienal, porém, para fins de produção comercial, comporta-se como uma cultura anual, por apresentar apenas a fase vegetativa até a colheita dos bulbos (KAMENETSKY; RABINOWITCH, 2006). O bulbo do alho é composto por bulbilhos, que se originam de uma gema axilar de folhas jovens, inseridas em um caule tipo prato (JIMENEZ *et al.*, 2021). A quantidade de bulbilhos produzidos por bulbo pode variar conforme a cultivar (POLYZOS *et al.*, 2019).

O ciclo de desenvolvimento da cultura do alho pode ser dividido em sete principais fases fenológicas, segundo a escala BBCH (BELLIDO *et al.*, 2016). A primeira fase consiste na quebra da dormência e o início da brotação dos bulbilhos. Após essa etapa, irá ocorrer o desenvolvimento vegetativo, iniciando com a emissão da primeira folha, caracterizando a segunda fase. Na terceira fase, as gemas axilares das folhas internas irão se diferenciar, formando os brotos laterais. A quarta fase é marcada pela diferenciação dos brotos laterais em folhas de armazenamento, formando os bulbilhos. A fase cinco ocorre em alhos que possuem florescimento completo e incompleto, consistindo na emissão do escapo floral. A fase seis irá ocorrer apenas em alhos com florescimento completo, determinada pela formação da inflorescência e abertura das flores. Após essas etapas irá ocorrer a senescência da planta e início da dormência dos bulbilhos, representado a sétima e última fase (BELLIDO *et al.*, 2016). Várias dessas fases podem se sobrepor parcialmente, a depender das variedades, como por exemplo, a fase três e quatro, ocorrem simultaneamente com a fase cinco em genótipos que emitem o escapo floral (BELLIDO *et al.*, 2016).

A cultura possui grande importância econômica, sendo bastante utilizada na culinária como condimento e para fins medicinais (SHANG *et al.*, 2019). O alho é uma planta rica em compostos bioativos, destacando-se os óleos essenciais, vitaminas e minerais (SALEHI *et al.*, 2019). Esses compostos possuem propriedades antibacterianas e antifúngicas, que atuam na proteção contra patógenos e na saúde humana, prevenindo o câncer e doenças cardiovasculares (SALEHI *et al.*, 2019; YOSHIMOTO; SAITO, 2019). Por apresentar vários benefícios à saúde, a utilização de seus isolados em produtos farmacêuticos tem aumentado (SHANG *et al.*, 2019). Além da saúde humana, esses compostos podem contribuir na saúde dos animais, sendo



promissores na redução e substituição do uso de antibióticos em aves (NAVIDSHAD; DARABIGHANE; MALECKY, 2018).

São produzidos cerca de 28 milhões de toneladas de alho mundialmente, onde o continente asiático se destaca na produção com 91,4 % desse total, sendo a China, o maior produtor (FAOSTAT, 2021). Em virtude da sua diversidade de uso, houve um incremento na produção mundial nos últimos dez anos em cerca de 40% (FAOSTAT, 2021). No Brasil, são cultivados dois tipos de alho, o alho ‘nobre’, caracterizado por bulbos de formato mais uniforme, melhor aparência, maior aceitação comercial e menor número de bulbilhos por bulbo, e o alho ‘semi-nobre’ com bulbos menos uniformes e maior número de bulbilhos por bulbo (LOPES *et al.*, 2016; LUCENA *et al.*, 2016). As cultivares são classificadas de acordo com as exigências em temperatura, fotoperíodo e com a duração do ciclo, sendo divididas em cultivares precoces, cultivares de ciclo mediano e cultivares tardias (ATIF *et al.*, 2019).

A produção brasileira de alho é concentrada nos estados de Minas Gerais, Goiás, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, com produção de 44,4, 30,9, 16,3 e 14,8 mil toneladas respectivamente (CONAB, 2020). No ano de 2019, a produção brasileira foi de aproximadamente 131 mil toneladas, com uma produtividade média de 11,22 toneladas ha<sup>-1</sup> (CONAB, 2021). A quantidade de alho proveniente da agricultura brasileira ainda não é suficiente para atender a demanda do consumo nacional, que atinge cerca de 296 mil toneladas por ano (FAOSTAT, 2021; CONAB, 2021). Para isso, necessita-se importar alho de outros países como a China e Argentina (ANAPA, 2020). No ano de 2019, o Brasil foi o terceiro maior importador mundial de alho, sendo 165,4 mil toneladas, representando 56% do total consumido (CONAB, 2021).

O suprimento da demanda através da produção nacional está diretamente ligado, sobretudo, com o aumento da produtividade. Cultivos com altas tecnologias utilizando elevadas doses de fertilizantes e realizando a limpeza viral *in vitro*, permitem a obtenção de produtividades acima da média nacional, podendo atingir mais de 20 toneladas por hectare (CUNHA *et al.*, 2015). Para aumentar a média de produtividade nacional, faz-se necessário empregar novas tecnologias de produção, para reduzir o custo de produção, e viabilizar a reprodução sexuada para o desenvolvimento de genótipos com alto potencial de produção, facilitando a competição do produto nacional no mercado interno (SHEMESH-MAYER; GOLDSTEIN, 2018).

## 2.2 Cultivo, fisiologia e exigências edafoclimáticas do alho

Por ser uma cultura cuja parte comercial são os bulbos, deve-se atentar para um preparo criterioso do solo para plantio, iniciando com a trituração dos resíduos culturais, seguida por subsolagem, aração, gradagem e a preparação dos canteiros com a rotoencanteiradora. Esse manejo tem como finalidade aumentar a porosidade, remover os impedimentos físicos e incorporar os resíduos orgânicos no solo antes do plantio (JOHANSEN *et al.*, 2015).

O plantio do alho é realizado por meio da propagação assexuada, utilizando-se bulbilhos-sementes, já que o alho não produz sementes botânicas (LOPES *et al.*, 2016). Para a obtenção de altas produtividades é necessário a realização de um plantio uniforme, através da seleção e classificação dos bulbilhos, pois bulbilhos com maior massa, possuem capacidade de formar plantas maiores e com maior área foliar (CASTELLANOS *et al.*, 2004). A população recomendada para o plantio do alho varia entre 350 a 420 mil plantas por hectare, dependendo da época de plantio e do peso do bulbilho-semente (LIMA *et al.*, 2019). Parte do processo do plantio é realizado de forma manual, como a debulha e preparo dos bulbilhos em pré-plantio, elevando o custo com mão de obra (CASTELLANOS *et al.*, 2004; MICHAEL *et al.*, 2018).

A cultura do alho possui uma grande interação entre genótipo e ambiente, necessitando de condições climáticas adequadas para elevadas produções, de acordo com as diferentes variedades (ATIF *et al.*, 2019). O alho é uma planta bienal, necessitando de um período de baixa temperatura, para passar da fase vegetativa para a reprodutiva (WU *et al.*, 2015). Assim, mesmo que a maioria dos genótipos de alho atualmente sejam estéreis, esse processo de frio em pré-cultivo (vernalização), e durante o cultivo, é fundamental para a diferenciação das gemas axilares que irão formar os bulbilhos (WU *et al.*, 2015; MICHAEL *et al.*, 2018).

A vernalização é uma técnica empregada em pré-cultivo, submetendo os bulbilhos-sementes à baixa temperatura por um determinado período de tempo (WU *et al.*, 2015). O tempo e a temperatura de armazenamento em pré-plantio varia de acordo com a variedade e o local de cultivo (WU *et al.*, 2015; MICHAEL *et al.*, 2018), sendo que no Brasil geralmente recomenda-se manter os bulbilhos à 4 °C por 50 dias em 70% de umidade relativa do ar (RESENDE; HABER; PINHEIRO, 2016). Essa técnica possibilita o cultivo do alho em locais onde as condições climáticas são desfavoráveis, pois supre uma demanda inicial de frio. O processo de vernalização promove alterações no balanço hormonal, aumentando a síntese de giberelina e citocinina (WU *et al.*, 2016). Esses hormônios são responsáveis pela diferenciação dos tecidos, crescimento das gemas laterais e quebra da dominância apical (LUCENA *et al.*, 2016).

Apesar do alho exigir temperaturas abaixo de 15 °C na fase de crescimento e diferenciação dos bulbilhos, no início do ciclo vegetativo, na fase de enchimento e maturação dos bulbos temperaturas maiores entre 20 e 30 °C são desejáveis para uma maior produtividade (ATIF *et al.*, 2020). O bom crescimento vegetativo inicial proporciona a formação de folhas grandes e em maior número, sendo importante para o acúmulo de reservas ao final do ciclo (RESENDE *et al.*, 2013). Além do frio, é necessário ainda, que a planta seja exposta a um fotoperíodo longo na fase de acúmulo de reservas, para que o máximo de acúmulo seja obtido (ATIF *et al.*, 2020), resultando em melhores produtividades e qualidades de bulbilhos.

O fotoperíodo e a temperatura influenciam a época da diferenciação da planta, afetando diretamente a síntese de alicina e de ácidos fenólicos, aumentando a produtividade e a qualidade dos bulbilhos (ATIF *et al.*, 2020). Após a diferenciação, o fotoperíodo longo e temperaturas altas favorecem o enchimento dos bulbilhos (ATIF *et al.*, 2020). Já a emissão dos escapos florais e a produção de sementes é influenciada pela combinação de temperatura e fotoperíodo, sendo que as respostas a esses fatores variam em relação ao genótipo (MATHEW *et al.*, 2011).

Um problema recorrente na produção de alho é o surgimento de brotos novos advindos do desenvolvimento anormal das folhas de proteção dos bulbilhos e emergindo na axila das folhas, provocando um excesso de brotações, denominado superbrotamento (MACÊDO *et al.*, 2009). Além da redução da produtividade, este superbrotamento resulta na redução da qualidade dos bulbos, comprometendo seu valor de mercado (MACÊDO *et al.*, 2009). Diversos fatores podem afetar o superbrotamento, dentre eles estão o fotoperíodo, temperatura, genótipo, adubações nitrogenadas e níveis de irrigação (MACÊDO; SOUZA; PEREIRA, 2006; RESENDE *et al.*, 2013). Para minimizar a incidência dessa anomalia, é empregado o manejo de déficit hídrico, por meio da suspensão da irrigação cerca de 40 a 50 dias após o plantio, por um período de 20 a 30 dias (MACÊDO; SOUZA; PEREIRA, 2006).

### **2.3 Florescimento**

O alho possui inflorescência do tipo umbela, com diâmetro em torno de 3 a 4 cm, constituído por aproximadamente 100 primórdios florais, e em cada um ocorre o desenvolvimento de cinco a seis flores com amadurecimento desigual (SHEMESH-MAYER; GOLDSTEIN, 2018). O desenvolvimento e amadurecimento das flores é afetado pela localização do primórdio floral na inflorescência, iniciando no centro da umbela (KAMENETSKY; RABINOWITCH, 2001; MAYER *et al.*, 2013). O processo de florogênese no alho é dividido em quatro fases: a transição do meristema apical para a fase reprodutiva,

alongamento do escapo floral, diferenciação da inflorescência e conclusão do desenvolvimento (antese) (KAMENETSKY *et al.*, 2002).

O desenvolvimento completo das flores de alho é dividido em dez etapas, com duração média de 18-22 dias, podendo variar de acordo com o genótipo (MAYER *et al.*, 2013). A primeira fase é caracterizada pela flor fechada, com anteras verdes envolvidas por tépalas também verdes. Na segunda fase, as tépalas se alongam, tornando-se rosas, normalmente cerca de 10-14 dias antes da antese. Na fase três, as anteras ficam com colorações roxa/rosa, de 6-8 dias antes da antese. Na quarta fase a cor das anteras fica púrpura e a superfície do estigma lisa e regular, é a fase onde ocorre a antese. A quinta fase ocorre um dia após a antese, sendo caracterizada pelo desdobramento das tépalas e dos estames, tornando-os visíveis. Dois a três dias após a antese, ocorre a sexta fase, marcada pela progressiva abertura da antera, permitindo a liberação do pólen e ovários com cores variando entre verde e roxo. Na sétima fase, ocorre o derramamento de pólen, porém, o estigma ainda não é receptivo. Na fase oito, ocorre o esvaziamento do saco polínico, com máximo crescimento dos estames e o estigma se torna receptivo. A receptividade do estigma aumenta na fase nove, porém, as anteras começam a murchar. Na fase dez ocorre a senescência das flores. Já o desenvolvimento da semente após a fertilização, dura cerca de um mês até a completa maturação (MAYER *et al.*, 2013).

A diferenciação das gemas para o florescimento é altamente dependente das condições ambientais, como temperatura e fotoperíodo (MICHAEL *et al.*, 2018). Entretanto, em decorrência ao centro de origem do alho, houve uma adaptação a invernos frios e verões quentes e secos, e esses fatores, juntamente com a seleção de genótipos mais produtivos ao longo do tempo, afetaram diretamente a fertilidade do alho (SHEMESH-MAYER; GOLDSTEIN, 2018), resultando em genótipos estéreis, na sua grande maioria. Entretanto, é importante destacar que o florescimento e a bulbificação competem por recursos na planta de alho, podendo limitar seu desenvolvimento (MICHAEL *et al.*, 2018). Logo, o florescimento é importante, principalmente em programas de melhoramento visando o aumento da variabilidade genética a partir da recombinação de acessos e produção de sementes botânicas. A partir destas sementes serão obtidos genótipos promissores e com alto potencial produtivo, os quais podem ser clonados, multiplicados e plantados comercialmente.

Nos últimos anos, houve um aumento nas tentativas de restaurar a fertilidade do alho através da utilização de técnicas de modulação do ambiente em diferentes genótipos (MATHEW *et al.*, 2011; MICHAEL *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2019). Em câmaras de crescimento, com controle de temperatura e fotoperíodo, Wu *et al.* (2016) verificaram maior formação de umbelas (aparafusamento do alho) em maior temperatura (25 °C dia e 18 °C noite) e maior

fotoperíodo (14 horas) testados. Neste estudo, houve ainda um maior acúmulo endógeno de giberelina em todos os genótipos nessas condições que favoreceram o aparafusamento, e de outros fitormônios como auxina e citocinina em alguns genótipos. Isso evidencia a influência da interação entre o genótipo, o fotoperíodo e a temperatura no balanço hormonal e, consequentemente, na formação de umbelas.

A variação das condições de armazenamento em pré-plantio e as condições ambientais durante o ciclo fenológico do alho, também influenciam diretamente na diferenciação das gemas reprodutivas (KAMENETSKY *et al.*, 2004). Em estudo conduzido por Kamenetsky *et al.* (2004), estes autores verificaram que baixas temperaturas, variando de 3-4 °C em pré-plantio e fotoperíodo longo (FL) de 20 horas (10 horas de luz natural e 10 horas de luz artificial incandescente (4  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  PAR)) proporcionaram a diferenciação floral do alho com 6 a 8 folhas, enquanto que sem a indução com FL a diferenciação ocorreu quando as plantas possuíam cerca de 11 a 13 folhas e houve uma redução no alongamento do escapo floral. Dessa forma, é possível induzir e antecipar o florescimento com a manipulação do fotoperíodo e da temperatura.

Kamenetsky *et al.* (2004) destacam que, para o florescimento do alho são necessárias faixas de temperaturas adequadas em pré-plantio, pois os extremos de temperatura (-2 °C e 20 °C) reduzem o alongamento do escapo, mesmo submetidos à FL. Em experimento conduzido por estes autores, com armazenamento a 4 °C e interrupções de FL com duração variável (7, 14, 21 e 28 dias), as respostas encontradas foram diferentes no desenvolvimento das flores e dos pequenos bulbilhos que se desenvolvem na inflorescência, denominados topsets. O FL em mais dias de exposição, resultou em um aumento no número de topsets e maior diâmetro das umbelas. Além da interação entre a vernalização e o FL, estes mesmos autores observaram que durante o cultivo, baixas temperaturas (20 °C dia/12 °C noite) proporcionaram melhores resultados no crescimento do escapo floral e número de flores que se desenvolveram até a antese, em relação a temperaturas superiores (23 °C dia/15 °C noite).

A época e a idade fisiológica em que ocorre a transição entre a fase vegetativa e reprodutiva variam de acordo com a cultivar em resposta ao fotoperíodo (MATHEW *et al.*, 2011). Em testes realizados por Mathew *et al.* (2011), os clones foram agrupados em: não aparafusados, semiaparafusados, aparafusados com inflorescência e com muitos topsets e inflorescência com muitas flores. Neste experimento, verificou-se que o crescimento do pedúnculo foi influenciado apenas nos genótipos que já haviam potencial de aparafusamento e, dentre estes, alguns obtiveram maiores crescimentos em diferentes períodos de exposição ao FL (10 e 30 dias) e outros apenas com o período de menor exposição ao FL (10 dias). Nos

clones com produção de topsets não houve efeito do FL, não ocorrendo a produção de flores. A interrupção com FL nas plantas com potencial de floração aumentou o número de flores por umbela (MATHEW *et al.*, 2011).

A vernalização dos bulbilhos de alho antes do plantio é uma alternativa para reduzir a necessidade de fotoperíodo, aumentando o florescimento (WU *et al.*, 2015). O FL e a vernalização promovem uma redução no crescimento foliar e um florescimento maior e antecipado (WU *et al.*, 2016; MICHAEL *et al.*, 2018). A temperatura e o tempo de vernalização necessários para o florescimento dependem do fotoperíodo e do genótipo (WU *et al.*, 2015; MICHAEL *et al.*, 2018). Em estudos realizados por Michael *et al.* (2018), a vernalização em pré-plantio a 4 °C a partir de 6 a 12 semanas reduziu o número de folhas para diferenciação e reduziu o ciclo, em comparação aos tratamentos não vernalizados e vernalizados por 2 e 4 semanas. Nesse mesmo trabalho, observou-se maior número de flores por umbela nos tratamentos de 4 e 6 semanas de vernalização. Encontrou-se também uma relação positiva entre o número de flores e topsets nos vários tratamentos, apenas no tratamento de vernalização por 12 semanas a relação de topsets foi maior.

A resposta à vernalização depende muito do genótipo utilizado, de acordo com WU *et al.* (2015), em alguns genótipos a temperatura média (10 °C) de vernalização por 40-50 dias é mais eficiente no aparafusamento do alho do que a menor (5 °C) e maior (15 °C). Embora a temperatura de 5 °C tenha sido eficiente quando exposta a um menor tempo de vernalização de 20 dias, evidenciando a interação do genótipo, tempo e temperatura de armazenamento em pré-plantio.

## **2.4 Esterilidade do alho**

A esterilidade no alho pode ocorrer em toda a flor ou individualmente nos órgãos femininos e masculinos (SHEMESH-MAYER; GOLDSTEIN, 2018; WU *et al.*, 2019). Em inflorescências de vários genótipos de alho, desenvolvem-se pequenos bulbilhos (topsets), devido a diferenciação de gemas vegetativas ao longo da formação (MATHEW *et al.*, 2011). Os topsets atrapalham o desenvolvimento dos botões florais, pela disputa por espaço físico e competição por nutrientes, causando o abortamento das flores (WU *et al.*, 2019). O aumento do fotoperíodo para alguns genótipos pode elevar a produção desses topsets e provocar o abortamento das flores e inflorescências (KAMENETSKY *et al.*, 2004; MATHEW *et al.*, 2011).

Para produção de flores viáveis é necessário realizar a remoção dos topsets em casos onde há alta produção deles, de forma manual com o auxílio de uma pinça para que as flores

tenham espaço para se desenvolverem (JENDEREK; HANNAN, 2004). Jenderek e Hannan (2004) testaram 47 clones de alho de 18 países diferentes e todos que produziram escapo floral e inflorescência desenvolveram topsets, que foram posteriormente removidos. Nesse trabalho, entre os 36 clones que desenvolveram o escapo floral aparentemente corretos, 19 produziram sementes viáveis. Os clones com maior produção de sementes produziram em torno de 15 sementes/umbela, porém, essa quantidade varia muito com as condições ambientais (JENDEREK; HANNAN, 2004).

Em continuação ao trabalho de Jenderek e Hannan (2004), os autores observaram que as sementes produzidas possuíam baixa germinação e baixa sobrevivência em campo e *in vitro* durante o estabelecimento da plântula (JENDEREK; ZEWDIE, 2005). Os autores relatam ainda, que pela forma de propagação assexuada, o alho pode ter acumulado mutações e manutenção de genes deletérios heterozigotos, e ao realizar a reprodução sexuada promoveu anomalias nas plantas devido a esses genes entrarem em homozigose. Dentre as plantas que conseguiram se desenvolver, os resultados de peso de bulbo, número de bulbilhos por bulbo, peso de bulbilho e número de folhas, foram extremamente variáveis entre todos os genótipos, isso é resultado da ampliação genética.

Em flores de alho, geralmente ocorre um desenvolvimento correto dos órgãos femininos, caracterizados por óvulos vitais, estigmas receptivos e configurações normais das sementes, com algumas exceções, quando ocorrem flores totalmente degeneradas (SHEMESH-MAYER; GOLDSTEIN, 2018). Já os órgãos masculinos, possuem diversos problemas de esterilidade no alho, podendo ser caracterizados pela degeneração de pólen dentro da antera, interrupção no desenvolvimento do pólen e estruturas anormais das anteras (MAYER *et al.*, 2013; SHEMESH-MAYER; GOLDSTEIN, 2018). Em avaliações anatômicas e morfológicas de diferentes clones de alho foram encontrados os três tipos de esterilidade masculina, e na maioria dos clones não se encontrou anormalidades nos órgãos reprodutivos femininos que apresentaram estigma receptivo (MAYER *et al.*, 2013).

A fertilidade do pólen pode ser afetada por baixas temperaturas na fase de pré-antese e por altas temperaturas durante a antese, podendo ocorrer degradação dos micrósporos e hipertrofia do tapete, provocando o abortamento dos grãos de pólen (SHEMESH-MAYER; GOLDSTEIN, 2018). O desenvolvimento do grão de pólen é influenciado por alterações que ocorrem no tecido localizado adjacente às células esporogênicas, denominado tapete (KOVALEVA *et al.*, 2017). A degeneração do tapete, ocasionada pela morte celular programada, é responsável pelo fornecimento de nutrientes e outros compostos que auxiliam no desenvolvimento do gametófito masculino (TCHÓRZEWSKA *et al.*, 2018).

Tchórzewska *et al.* (2018) através da utilização de microscopia de imagem por fluorescência ao longo da vida (FLIM), identificou diferenças significativas no metabolismo do tapete em espécies estéreis e férteis (alho e alho-poró, respectivamente) do gênero *Allium*. O alho-poró fértil apresentou maior homogeneidade no metabolismo, podendo estar associado à maior orquestração na degeneração do tecido nutritivo. Dessa forma, para evitar a má formação dos grãos de pólen, é necessário que ocorra a sincronização entre a degeneração do tapete e o desenvolvimento do micrósporo (TCHÓRZEWSKA *et al.*, 2018).

A fertilidade do grão de pólen também está diretamente relacionada com o genótipo. Em 17 clones de alho, foram encontradas taxas de fertilidade variando de 4 a 86,8% (HONG; ETOH, 1996). Nesses clones, a germinação dos grãos de pólen variou de 31,7 a 55,6% cerca de duas horas após a liberação dos mesmos, e apenas alguns genótipos produziram sementes viáveis. Os estudos sobre a produção de sementes viáveis para a cultura do alho ainda são escassos, fazendo-se necessário buscar medidas para tentar induzir o florescimento e produção de sementes.

## 2.5 Uso de fitormônios na reversão da esterilidade

Na cultura do alho, há poucos trabalhos relacionados com conteúdo de fitormônios nos tecidos reprodutivos, porém, em outras culturas que apresentam problemas de degeneração do tapete, estes estão mais avançados. Em anteras de mutantes de arroz com deficiência na degeneração do tapete, Kurusu *et al.* (2017) encontraram menores teores de giberelinas ativas (GA<sub>1</sub>, GA<sub>4</sub> e GA<sub>7</sub>) e citocinina (trans-zeatina), em comparação com uma cultivar e um genótipo selvagem férteis. Na cultura do arroz, Aya *et al.* (2009) verificaram ainda que o principal alvo da giberelina durante o desenvolvimento da antera é o tapete, e sua deficiência provoca uma degeneração defeituosa no tecido. A deficiência de giberelina também é responsável pela esterilidade masculina em *Arabidopsis* (CHENG *et al.*, 2004).

Em petúnia, o abortamento do gametófito masculino foi associado à degeneração prematura do tapete, semelhante ao encontrado para o alho (KOVALEVA *et al.*, 2017). Em trabalhos realizados com pólen férteis de petúnia, Kovaleva *et al.* (2017) constataram um aumento gradual nos níveis de auxina no tecido reprodutivo e diminuição no tapete, mantendo os níveis de ABA constantes nos dois tecidos. Já no desenvolvimento de pólen estéril, ocorreu aumento nos níveis dos dois fitormônios na célula reprodutiva, isso pode evidenciar o efeito do balanço hormonal nos tecidos nutritivos e reprodutivos para o correto desenvolvimento do grão de pólen.



A interação hormonal pode estar diretamente relacionada com o desenvolvimento dos grãos de pólen (KOVALEVA *et al.*, 2017; KURUSU *et al.*, 2017). Em cada estágio de desenvolvimento do pólen, há concentrações distintas de fitormônios na antera, sendo a auxina, giberelina e etileno mais expressados nos estádios finais (HIRANO *et al.*, 2008). As formas ativas de giberelina, GA<sub>4</sub> e GA<sub>7</sub> principalmente, estão em maiores concentrações nos estádios finais de desenvolvimento do grão de pólen, e a exposição a baixas temperaturas promove uma redução dos níveis de GA ativa nas anteras do arroz (SAKATA *et al.*, 2014). Altos níveis de giberelina nos tecidos da antera, em estádios iniciais do desenvolvimento anterior à meiose, levam a diploidia do grão de pólen (LIU; STORME; GEELLEN, 2017). A sinalização de giberelina pode ser mediada por vários genes, em arroz sugere-se que o gene GAMYB atua como um componente principal na sinalização de GA no desenvolvimento das anteras (AYA *et al.*, 2009).

Aplicação de giberelina exógena pode ser uma alternativa para a produção de sementes no alho, porém, é necessário a identificação de doses e épocas mais adequadas. Trabalhos na cultura do arroz utilizam aplicações durante o desenvolvimento da panícula, que está diretamente relacionado com os estádios de maiores concentrações do fitormônio nas anteras (AYA *et al.*, 2009; KURUSU *et al.*, 2017). Kurusu *et al.* (2017) verificou que a aplicação de 10<sup>-5</sup> M de GA<sub>4</sub> exógena em inflorescências de arroz mutante estéril proporcionou um aumento na germinação do polén. Já Aya *et al.* (2009) testou a aplicação de 10<sup>-5</sup> M de GA<sub>3</sub> que promoveu o resgate do desenvolvimento correto da antera em mutantes de arroz sensíveis à aplicação (AYA *et al.*, 2009).

Em tabaco Huang *et al.* (2003), realizaram a aplicação de 15 mg de cinetina, um tipo de citocinina, durante duas semanas em dias alternados, que resultou na produção de sementes férteis nas flores que desenvolveram 10 dias após a primeira aplicação. Já as flores que desenvolveram antes dos dez dias possuíam flores estéreis. Nesse mesmo trabalho, a aplicação de GA exógena não reverteu a esterilidade masculina no tabaco. Verifica-se que a citocinina é exigida constantemente nos órgãos masculinos do tabaco, podendo estar associado a síntese de GA (HUANG *et al.*, 2003).

Para a regulação hormonal favorável ao florescimento, além da aplicação exógena de fitormônios, pode-se utilizar inibidores da síntese desses hormônios (PHASRI *et al.*, 2019). O paclobutrazol (PBZ) pertence ao grupo dos triazóis e atua reduzindo o crescimento vegetal através da queda da síntese de giberelina (SOUMYA; KUMAR; PAL, 2017). Vários trabalhos mostram a eficiência do PBZ na redução do crescimento, maturação dos ramos e, conseqüentemente, maior florescimento das plantas (MOG *et al.*, 2019; ZHU; STAFNE, 2019).

O PBZ é comumente utilizado na fruticultura, e recentes investigações revelam sua atuação sobre o crescimento e florescimento de plantas ornamentais (PHASRI *et al.*, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2020).

A aplicação de PBZ na espécie ornamental *Allium robertianum*, pertencente ao mesmo gênero do alho cultivado, mostrou efeito significativo no crescimento e florescimento, reduzindo a altura, número de folhas, comprimento do escapo floral e no diâmetro da umbela, com o uso das maiores doses (5 e 10 mg planta<sup>-1</sup>) (KARAGÜZEL; BAKTIR, 2008). O diâmetro da umbela apesar de diminuir com as maiores doses foi superior em relação a testemunha. Karagüzel e Baktir (2008) verificaram que os métodos de aplicação utilizados que foram via bulbo, solo e pulverização não diferiram entre si.

Na olericultura, o PBZ ainda é pouco explorado, principalmente em relação a cultura do alho. Os trabalhos realizados com a cultura objetivaram avaliar a redução do superbrotamento e o aumento da produção comercial de bulbos (RESENDE *et al.*, 2001; RESENDE; SOUZA, 2002). Os efeitos encontrados foram uma redução no crescimento e no número de folhas, características semelhantes aos genótipos que possuem potencial de florescimento (RESENDE *et al.*, 1999; MICHAEL *et al.*, 2018). Faz-se necessário a investigação dos efeitos do PBZ sobre o florescimento e produção de sementes na cultura do alho.

## 2.6 Produção de sementes botânicas

O alho evoluiu de formas férteis para estéreis, pois as variedades primitivas do alho produziam sementes férteis, principalmente as do seu centro de origem na Ásia Central (McCOLLUM, 1976). Mesmo em genótipos com capacidade para produção de sementes botânicas, faz-se necessário a manipulação humana para a produção destas sementes (SIMON; JENDEREK, 2003).

A ausência de órgãos reprodutivos viáveis impossibilita a produção de sementes botânicas viáveis, dessa forma, o alho é denominado uma espécie apomítica obrigatória (POOLER; SIMON, 1993). A falta de flores viáveis ocorre devido a diversos fatores bióticos e abióticos, ocorridos durante os processos de domesticação e seleção de variedades mais produtivas, que contribuíram para sua incapacidade de se reproduzir sexualmente.

A competição por nutrientes no desenvolvimento dos bulbinhos aéreos e flores (KAMENETSKY; RABINOWITCH, 2002), ocasionado pelo desbalanço hormonal da planta (POOLER; SIMON, 1994), pela variabilidade genética extremamente baixa (SIMON; JENDEREK, 2003) e pelas perdas genéticas que ocorreram durante as gerações de seleção, são

os principais fatores da escassez de sementes viáveis e férteis. Entretanto, o alho é capaz de diferenciar as flores em até 28 semanas após o plantio, ocorrendo futuramente a gametogênese e a antese (ROTEM *et al.* 2011).

Por ser uma monocotiledônea da família das Aliaceae, o eixo embrionário do alho é composto por um hipocótilo e um epicótilo. O hipocótilo é lateral ou oblíquo, que determina a sua posição em relação ao cotilédone e tem cerca de um milímetro de comprimento. O epicótilo é geralmente pouco evidente, até o momento da germinação, sendo mais desenvolvido nas sementes que apresentam germinação (EMBRAPA, 2021). Nos trabalhos já realizados por Simon e Jenderek (2004), cerca de 80 a 90% das sementes produzidas eram constituídas apenas dos involúcros, sem embrião ou endosperma.

As plantas emitem um escapo floral com 40 a 50 cm de comprimento, que formam as umbelas, contendo bulbilhos e flores perfeitas, normalmente estéreis (KAMENETSKY; RABINOWITCH, 2006). As flores de alho são protândricas, hermafroditas, com anteras e estigmas na mesma flor. As anteras liberam o pólen cerca de dois a quatro dias antes do estigma estar pronto, dessa forma as flores individuais tornam-se incapazes de fertilizar a si mesmas. Cada ovário da flor possui três câmaras, cada uma com dois óvulos, com potencial de produzir cerca de seis sementes por flor (MICHAEL *et al.*, 2018). A fecundação cruzada entre flores na inflorescência pode acontecer, sendo a polinização tipicamente realizada por insetos.

O Brasil tem uma diversidade importante de polinizadores que contribuem para a rentabilidade do agronegócio, tanto em pequena quanto grande escala (FREITAS; NUNES, 2011). Segundo Freitas e Nunes (2011), existem benefícios adicionais da polinização para culturas brasileiras, no caso do alho, o uso de polinizadores promove um aumento na taxa de reprodução das plantas. Em cebola, são conhecidas 276 espécies de insetos que visitam suas flores, sendo que destes, Hymenoptera e Diptera são os mais importantes polinizadores (BOHART; NYE; HAWTHORN, 1970; WILLIAMS; FREE, 1974; EWIES; EL-SAHHAR, 1977).

As sementes botânicas de variedades de alho, obtidas através de plantas propagadas por meio assexuado têm uma taxa de germinação muito baixa, variando entre 10% a 35% (RESENDE *et al.*, 2013). Após algumas gerações de multiplicação por via sexuada, ou seja, somente através das sementes verdadeiras, a taxa de germinação e a capacidade de produção de sementes botânicas do alho tendem a aumentar (KAMENETSKY; RABINOWITCH, 2006).

## REFERÊNCIAS

- ANAPA. Associação Nacional dos Produtores de Alho. **Safra 2020**. Disponível em: <https://anapa.com.br/>. Acesso em: 19 fev. 2021.
- ATIF, M. J.; AMIN, B.; GHANI, M. I.; ALI, M.; ZHANG, S.; CHENG, Z. Effect of photoperiod and temperature on garlic (*Allium sativum* L.) bulbing and selected endogenous chemical factors. **Environmental and Experimental Botany**, [s.l.], v. 180, p. 104250, 2020.
- ATIF, M. J.; AMIN, B.; GHANI, M. I.; HAYAT, S.; ALI, M.; ZHANG, Y.; CHENG, Z. Influence of different photoperiod and temperature regimes on growth and bulb quality of garlic (*Allium sativum* L.) cultivars. **Agronomy**, [s.l.], v. 9, n. 12, p. 879, 2019.
- AYA, K.; UEGUCHI-TANAKA, M.; KONDO, M.; HAMADA, K.; YANO, K.; NISHIMURA, M.; MATSUOKA, M. Gibberellin modulates anther development in rice via the transcriptional regulation of GAMYB. **The Plant Cell**, [s.l.], v. 21, n. 5, p. 1453-1472, 2009.
- BELLIDO, F. J. L.; BELLIDO, R. J. L.; ROMERO, V. M.; GARCIA, P. F.; BELLIDO, L. L. New phenological growth stages of garlic (*Allium sativum*). **Annals of Applied Biology**, [s.l.], v. 169, n. 3, p. 423-439, 2016.
- BOHART, G. E.; NYE, W. P.; HAWTHORN, L. R. Onion pollination as affected by different levels of pollinator activity. **Bulletin of the Utah Agriculture Experiment Station**, [s.l.], v. 482, p. 1-60, 1970.
- CARVALHO, M. J. S.; OLIVEIRA, E. J.; SOUZA, A. S.; PEREIRA, J. S.; DIAMANTINO, M. S. A. S.; OLIVEIRA, S. A. S. Cleaning cassava genotypes infected with cassava frogskin disease via *in vitro* shoot tip culture. **Genetics and Molecular Research**, [s.l.], v. 16, n. 2, p. 1-17, 2017.
- CASTELLANOS, J. Z.; VARGAS-TAPIA, P.; OJODEAGUA, J. L.; HOYOS, G.; ALCANTAR-GONZALEZ, G.; MÉNDEZ, F. S.; ALVAREZ-SANCHEZ, E.; GARDEA, A. A. Garlic productivity and profitability as affected by seed clove size, planting density and planting method. **HortScience**, [s.l.], v. 39, n. 6, p. 1272-1277, 2004.
- CHENG, H.; QIN, L.; LEE, S.; FU, X.; RICHARDS, D. E.; CAO, D.; LUO, D.; HARBERD, N. P.; PENG, J. Gibberellin regulates Arabidopsis floral development via suppression of DELLA protein function. **Development**, [s.l.], v. 131, n. 5, p. 1055-1064, 2004.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra 2020**. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-alho>. Acesso em: 11 abr. 2021.
- CUNHA, M. L. P.; OLIVEIRA, T. F.; CLEMENTE, J. M.; GENTIL, T. G.; AQUINO, L. A. Modeling of nutrients demands in garlic crop. **Australian Journal of Crop Science**, [s.l.], v. 9, n. 12, p. 1205, 2015.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *In*: RESENDE, F. V.; HABER, L. L.; PINHEIRO, J. B. Brasília, DF: **Embrapa Hortaliças**. 2021. Disponível em: [https://www.embrapa.br/hortalicas/alho/botanica#:~:text=O%20alho%20pertencente%20%C3%A0%20fam%C3%ADlia,o%20bulbo%20\(Figura%201A\)](https://www.embrapa.br/hortalicas/alho/botanica#:~:text=O%20alho%20pertencente%20%C3%A0%20fam%C3%ADlia,o%20bulbo%20(Figura%201A).). Portal Embrapa (Versão 3.107.0. Acesso em: 01 jun. 2021).

ETOH, T.; WATANABE, H.; IWAI, S. RAPD variation of garlic clones in the center of origin and the westernmost area of distribution. **Memoirs of the Faculty of Agriculture, Kagoshima University**, [*s.l.*], v. 37, n. 1, p. 21-27, 2001.

EWIES, M.; EL-SAHHAR, K. F. Observations on the behavior honeybees on onion and their effects on the seed yield. **Journal of Apicultural Research, Cardiff**, [*s.l.*], v. 16, n. 4, p. 194-196, 1977.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. **Division: Garlic**. Disponível em: <http://fao.org/faostat/en/#/data/QC/visualize>. Acesso em: 17 abr. 2021.

FREITAS, B. M.; NUNES S. P. Polinização agrícola e sua importância no Brasil. *In*: IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; CANHOS, D. A. L.; ALVES, D. A.; SARAIVA, A. M. **Polinizadores no Brasil**. São Paulo: EDUSP, 2011.

HIRANO, K.; AYA, K.; HOBO, T.; SAKAKIBARA, H.; KOJIMA, M.; SHIM, R. A.; HASEGAWA, Y.; UEGUCHI-TANAKA, M.; MATSUOKA, M. Comprehensive transcriptome analysis of phytohormone biosynthesis and signaling genes in microspore/pollen and tapetum of rice. **Plant and Cell Physiology**, [*s.l.*], v. 49, n. 10, p. 1429-1450, 2008.

HONG, C. J.; ETOH, T. Fertile clones of garlic (*Allium sativum* L.) abundant around the Tien Shan mountains. **Japanese Journal of Breeding**, [*s.l.*], v. 46, n. 4, p. 349-353, 1996.

HUANG, S.; CERNY, R. E.; QI, Y.; BHAT, D.; AYDT, C. M.; HANSON, D. D.; MALLOY, K. P.; NESS, L. A. Transgenic studies on the involvement of cytokinin and gibberellin in male development. **Plant Physiology**, [*s.l.*], v. 131, n. 3, p. 1270-1282, 2003.

JENDEREK, M. M.; HANNAN, R. M. Variation in reproductive characteristics and seed production in the USDA garlic germplasm collection. **HortScience**, [*s.l.*], v. 39, n. 3, p. 485-488, 2004.

JENDEREK, M. M.; ZEWDIE, Y. Within and between-family variability for important bulb and plant traits among sexually derived progenies of garlic. **HortScience**, [*s.l.*], v. 40, n. 5, p. 1234-1236, 2005.

JIMENEZ, J. C. F.; MORALES, J. S.; GONZALEZ, R. B.; SAUCEDO, M. C. C.; CAMPOS, E. T. Temperature effects on meristem differentiation and flowering date in tuberose (*Agave amica* L.). **Scientia Horticulturae**, [*s.l.*], v. 275, p. 109663, 2021.

JOHANSEN, T. J.; THOMSEN, M. G.; LØES, A. K.; RILEY, H. Root development in potato and carrot crops—influences of soil compaction. **Acta Agriculturae Scandinavica**, [*s.l.*], v. 5, n. 2, p. 182-192, 2015.

KAMENETSKY, R. Garlic: Botany and Horticulture. **Horticultural Reviews**, [s.l.], v. 33, n. 1, p. 123-172, 2007.

KAMENETSKY, R.; RABINOWITCH, H. D. Floral development in bolting garlic. **Sexual Plant Reproduction**, [s.l.], v. 13, n. 4, p. 235-241, 2001.

KAMENETSKY, R.; RABINOWITCH, H. D. Florogenesis. *In*: RABINOWITCH, H. D.; CURRAH, L. (Ed.). **Allium crop sciences: recent advances**. Wallingford: CAB International, 2002. p. 31-58.

KAMENETSKY, R.; RABINOWITCH, H. D. The genus *Allium*: A developmental and horticultural analysis. **Horticultural Reviews**, Westport Then New York, v. 32, n. 1, p. 329, 2006.

KAMENETSKY, R.; SHAFIR, I. L.; BAIZERMAN, M.; KHASSANOV, F.; KIK, C.; RABINOWITCH, H. Garlic (*Allium sativum* L.) and its wild relatives from Central Asia: evaluation for fertility potential. *In*: INTERNATIONAL HORTICULTURAL CONGRESS: ADVANCES IN VEGETABLE BREEDING 637. 2002, 26., [s.l.]. **Proceedings** [...]. [s.l.], 2002. p. 83-91.

KAMENETSKY, R.; SHAFIR, I. L.; ZEMAH, H.; BARZILAY, A.; RABINOWITCH, H. Environmental control of garlic growth and florogenesis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [s.l.], v. 129, n. 2, p. 144-151, 2004.

KARAGÜZEL, O.; BAKTIR, I. Growth and flowering responses of endemic *Allium robertianum* L. to paclobutrazol treatments. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FLOWER BULBS AND HERBACEOUS PERENNIALS 886. 2009. 5., [s.l.]. **Proceedings** [...]. [s.l.], 2008. p. 119-122.

KOVALEVA, L. V.; VORONKOV, A. S.; ZAKHAROVA, E. V.; ANDREEV, I. M. ABA and IAA control microsporogenesis in *Petunia hybrida* L. **Protoplasma**, [s.l.], v. 255, n. 3, p. 751-759, 2017.

KURUSU, T.; KOYANO, T.; KITAHATA, N.; KOJIMA, M.; HANAMATA, S.; SAKAKIBARA, H.; KUCHITSU, K. Autophagy-mediated regulation of phytohormone metabolism during rice anther development. **Plant Signaling & Behavior**, [s.l.], v. 12, n. 9, p. e1365211, 2017.

LIMA, M. F. P. D.; LOPES, W. D. A. R.; NEGREIROS, M. Z. D.; GRANGEIRO, L. C.; SOUSA, H. C. D.; SILVA, O. Garlic quality as a function of seed clove health and size and spacing between plants. **Revista Caatinga**, [s.l.], v. 32, n. 4, p. 966-975, 2019.

LIU, B.; STORME, N.; GEELLEN, D. Gibberellin induces diploid pollen formation by interfering with meiotic cytokinesis. **Plant Physiology**, [s.l.], v. 173, n. 1, p. 338-353, 2017.

LOPES, W. A.; NEGREIROS, M. Z.; RESENDE, F. V.; LUCENA, R. R.; SOARES, A. M.; SILVA, O. M.; MEDEIROS, J. F. Garlic production depending on vernalization periods and planting times in semiarid climate region. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 34, n. 2, p. 249-256, 2016.

LUCENA, R. R.; NEGREIROS, M. Z. D.; MORAIS, P. L. D. D.; LOPES, W. D. A. R.; SOARES, A. M. Qualitative analysis of vernalized semi-noble garlic cultivars in western Rio Grande do Norte State, Brazil. **Revista Caatinga**, [s.l.], v. 29, n. 3, p. 764-773, 2016.

MACÊDO, F. S.; SOUZA, R. J. D. CARVALHO, J. G. D.; SANTOS, B. R.; LEITE, L. V. D. R. Produtividade de alho vernalizado em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Bragantia**, [s.l.], v. 68, n. 3, p. 657-663, 2009.

MACÊDO, F. S.; SOUZA, R. J. D.; PEREIRA, G. M. Controle de superbrotamento e produtividade de alho vernalizado sob estresse hídrico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 41, n. 4, p. 629-635, 2006.

MATHEW, D.; FORER, Y.; RABINOWITCH, H. D.; KAMENETSKY, R. Effect of long photoperiod on the reproductive and bulbing processes in garlic (*Allium sativum* L.) genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, [s.l.], v. 71, n. 2, p. 166-173, 2011.

MAYER, E. S.; WINIARCZYK, K.; BŁASZCZYK, L.; KOSMALA, A.; RABINOWITCH, H. D.; KAMENETSKY, R. Male gametogenesis and sterility in garlic (*Allium sativum* L.): barriers on the way to fertilization and seed production. **Planta**, [s.l.], v. 237, n. 1, p. 103-120, 2013.

McCOLLUM, G.D. Onion and allies. *In*: SIMMONDS, N.W. (Ed). **Evolution of crop plants**. Longman, 1976. p.186-190.

MICHAEL, T. B.; SHEMESH-MAYER, E.; KIMHI, S.; GERSHBERG, C.; FORER, I.; ÁVILA, V. T.; RABINOWITCH, H. D.; GOLDSTEIN, R. K. Temporal and spatial effect of low pre-planting temperatures on plant architecture and flowering in bolting garlic. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 242, n. 1, p. 69-75, 2018.

MOG, B.; JANANI, P.; NAYAK, M. G.; ADIGA, J. D.; MEENA, R. Manipulation of vegetative growth and improvement of yield potential of cashew (*Anacardium occidentale* L.) by Paclobutrazol. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 257, p. e108748, 2019.

NAVIDSHAD, B.; DARABIGHANE, B.; MALECKY, M. Garlic: An alternative to antibiotics in poultry production, A Review. **Iranian Journal of Applied Animal Science**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 9-17, 2018.

OLIVEIRA, M. B.; FIGUEIREDO, M. G. F.; PEREIRA, M. C. T.; CARMO MOUCO, M. A.; RIBEIRO, L. M.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O. Structural and cytological aspects of mango floral induction using paclobutrazol. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 262, p. e109057, 2020.

PHASRI, W.; NEERA, S.; JOGLOY, S.; HONGPAKDEE, P. Effect of paclobutrazol application on growth, flowering and inulin content of ornamental *Helianthus tuberosus* L. **Acta Horticulturae**, v. 1237, p. 161-168, 2019.

POLYZOS, N.; PAPASOTIROPOULOS, V.; LAMARI, F. N.; PETROPOULOS, S. A.; BEBELI, P. J. Phenotypic characterization and quality traits of Greek garlic (*Allium sativum* L.) germplasm cultivated at two different locations. **Genetic Resources and Crop Evolution**, [s.l.], v. 66, n. 8, p. 1671-1689, 2019.

POOLER, M. R.; SIMON, P. W. Garlic flowering in response to clone, photoperiod, temperature, and cold storage. **HortScience**, [s.l.], v. 28, p. 1085-1086, 1993.

POOLER, M. R.; SIMON, P. W. True seed production in garlic. **Sexual Plant Reproduction**, [s.l.], v. 7, n. 5, p. 282-286, 1994.

RESENDE, F.V.; HABER, L.L.; PINHEIRO, J.B. **Sistema de produção de alho**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2016.

RESENDE, G. M. D.; COSTA, N. D.; MELO, N. F. D.; SOUZA, R. J. D. Efeitos do paclobutrazol em diferentes concentrações e períodos de imersão na cultura do alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 34, n. 4, p. 635-639, 1999.

RESENDE, G. M. D.; SOUZA, R. J. D. Efeito de doses de paclobutrazol na cultura do alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, [s.l.], v. 37, n. 5, p. 637-641, 2002.

RESENDE, G. M.; SOUZA, R. J.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; FLORI, J. E. Produtividade e qualidade de bulbos de alho em diferentes doses de paclobutrazol e períodos de frigidificação. **Ciência e Agrotecnologia**, [s.l.], v. 25, n. 6, p. 1343-1350, 2001.

RESENDE, J. T. V.; MORALES, R. G. F.; ZANIN, D. S.; RESENDE, F. V.; PAULA, J. T.; DIAS, D. M.; GALVÃO, A. G. Morphological characterization, commercial yield and productivity of garlic cultivars. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 31, n. 1, p. 157-162, 2013.

ROTEM N.; SCHWARTZ D. R.; PERETZ Y.; SELA I.; RABINOWITCH D. H.; FLAISHMAN M.; KAMENETSKY R. Flower development in garlic: the ups and downs of gaLFY expression. **Planta**, [s.l.], v. 233, p. 1063-1072, 2011.

ROTEM, N. S. E.; PERETZ, Y.; AKAD, F.; EDELBAUM, O.; RABINOWITCH, H. D.; SELA, I.; KAMENETSKY, R. Reproductive development and phenotypic differences in garlic are associated with expression and splicing of LEAFY homologue gaLFY. **Journal of Experimental Botany**, [s.l.], v. 58, n. 5, p. 1133-1141, 2007.

RUBIO, L.; GALIPIENSO, L.; FERRIOL, I. Detection of plant viruses and disease management: relevance of genetic diversity and evolution. **Frontiers in Plant Science**, [s.l.], v. 11, p. 1092, 2020.

SAKATA, T.; ODA, S.; TSUNAGA, Y.; SHOMURA, H.; KAWAGISHI-KOBAYASHI, M.; AYA, K.; SAEKI, K.; ENDO, T.; NAGANO, K.; KOJIMA, M. Reduction of gibberellin by low temperature disrupts pollen development in rice. **Plant Physiology**, [s.l.], v. 164, n. 4, p. 2011-2019, 2014.

SALEHI, B.; ZUCCA, P.; ORHAN, I. E.; AZZINI, E.; ADETUNJI, C. O.; MOHAMMED, S. A.; BANERJEE, S. K.; SHAROPOV, F.; RIGANO, D.; SHARIFI-RAD, J. Allicin and health: A comprehensive review. **Trends in Food Science & Technology**, [s.l.], v. 86, n. 1, p. 502-516, 2019.

SALOMON, R. Virus diseases in garlic and the propagation of virus-free plants. In: RABINOWITCH, H. D.; CURRAH, L. (Ed.). **Allium crop science: recent advances**, 2002. Cap. 13. p. 311-327.



SAMAVATEAN, N.; RAFIEE, S.; MOBLI, H. An analysis of energy use and estimation of a mechanization index of garlic production in Iran. **Journal of Agricultural Science**, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 198, 2011.

SASTRY, K. S. Plant virus transmission through vegetative propagules (asexual reproduction). In: **Seed-borne plant virus diseases**. [s.l.]: Springer, 2013. p. 285-305.

SHANG, A.; CAO, S. Y.; XU, X. Y.; GAN, R. Y.; TANG, G. Y.; CORKE, H.; MAVUMENGWANA, V.; LI, H. B. Bioactive compounds and biological functions of garlic (*Allium sativum* L.). **Foods**, [s.l.], v. 8, n. 7, p. 246, 2019.

SHEMESH-MAYER, E.; GOLDSTEIN, R. K. Recent advances in sexual propagation and breeding of garlic. **Horticultural Reviews**, [s.l.], v. 46, n. 1, p. 1-38, 2018.

SILVA, N. Análise do resultado financeiro do cultivo de alho: estudo em propriedades rurais de pequeno porte de Santa Catarina. **Revista do CCEI**, [s.l.], v. 22, n. 37, p. 19-36, 2017.

SIMON, P. W.; JENDEREK, M. M. Flowering, seed production and the genesis of garlic breeding. **Plant Breed Reviews**, [s.l.], v. 23, p. 211-244, 2003.

SOUMYA, P. R.; KUMAR, P.; PAL, M. Paclobutrazol: a novel plant growth regulator and multi-stress ameliorant. **Indian Journal of Plant Physiology**, [s.l.], v. 22, n. 3, p. 267-278, 2017.

TCHÓRZEWSKA, D.; LUCHOWSKI, R.; GRUSZECKI, W. I.; WINIARCZYK, K. Comparative studies of live tapetum cells in sterile garlic (*Allium sativum*) and fertile leek (*Allium ampeloprasum*) using the fluorescence lifetime imaging analytical method. **South African Journal of Botany**, [s.l.], v. 117, n. 1, p. 222-231, 2018.

WILLIAMS, I. H.; FREE, J. B. The pollination of onion (*Allium cepa* L.) to produce hybrid seed. **Journal of Applied Ecology**, [s.l.], v. 11, p. 409-417, 1974.

WU, C.; WANG, M.; CHENG, Z.; MENG, H. Response of garlic (*Allium sativum* L.) bolting and bulbing to temperature and photoperiod treatments. **Biology Open**, [s.l.], v. 5, n. 4, p. 507-518, 2016.

WU, C.; WANG, M.; DONG, Y.; CHENG, Z.; MENG, H. Growth, bolting and yield of garlic (*Allium sativum* L.) in response to clove chilling treatment. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 194, n. 1, p. 43-52, 2015.

WU, Z.; JIANG, F.; LIU, M.; XING, X.; FU, C.; WU, Z. The flower bud differentiation process of *Allium sativum* and its anatomical structure and morphological characteristics changes. **Journal of Plant Resources and Environment**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 25-33, 2019.

YOSHIMOTO, N.; SAITO, K. S-Alk(en) ylcycteine sulfoxides in the genus *Allium*: proposed biosynthesis, chemical conversion, and bioactivities. **Journal of Experimental Botany**, [s.l.], v. 70, n. 16, p. 4123-4137, 2019.

ZHU, H.; STAFNE, E. T. Influence of paclobutrazol on shoot growth and flowering in a high-density pecan orchard. **HortTechnology**, [s.l.], v. 29, n. 2, p. 210-212, 2019.

## CAPITULO 2 INDUÇÃO DE FLORESCIMENTO E PRODUÇÃO DE SEMENTES BOTÂNICAS EM ALHO COM O USO DE INDUTORES DE FLORESCIMENTO

### RESUMO

A busca para restaurar a capacidade de produção de sementes botânicas no alho é fundamental para aumentar a variabilidade genética e facilitar a seleção de genótipos superiores. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho, avaliar o potencial de florescimento e a indução da produção de sementes botânicas viáveis de alho em decorrência da utilização de indutores de florescimento. O experimento foi implantado na área experimental do setor de olericultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), município de Lavras, MG, em abril de 2020. Foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. O ensaio foi constituído por um fatorial duplo (7x3), sendo sete doses de indutores de florescimento – GA<sub>3</sub> e PBZ (3,5 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>; 9 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>; 18 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>; 480 mg L<sup>-1</sup> de PBZ; 3.600 mg L<sup>-1</sup> de PBZ; 7.200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ; testemunha sem indutor de florescimento) e três épocas de aplicações (antes da diferenciação do escapo floral, quando a planta estiver com quatro folhas; no início da emissão do escapo floral; e no início da formação da umbela). Foram avaliados a altura das plantas no florescimento, número de folhas no florescimento, comprimento do escapo floral, número de topsets por umbela, total de flores por umbela, relação flores/topsets, dias até a antese, porcentagem de plantas que produziram escapo, porcentagem de plantas que produziram umbelas, total de umbelas com sementes, total de sementes por unidade experimental, porcentagem de plantas com sementes. Avaliou-se também a viabilidade dos grãos de pólen e a receptividade do estigma. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F (p<0,05). Quando necessário, foram realizadas as transformações Box-cox e Rank. Na presença de significância, as médias foram agrupadas pelo critério de Scott-Knott para as épocas de aplicação e para os diferentes indutores de florescimento, a 5% de significância. Houve interação entre as doses de indutores de florescimento e épocas de aplicação, com diferenças significativas apenas para a porcentagem de planta com escapo (PPE), porcentagem de plantas com umbela (PPU), dias até a antese (DA), relação flores/topsets (RFT) e receptividade do estigma (RE). Na aplicação antes da diferenciação e durante a emissão do escapo, o PBZ na dose de 3.600 mg L<sup>-1</sup> foi o tratamento que mais influenciou negativamente as variáveis de florescimento, PPE, PPU e RFT. Durante a formação da umbela, a dose mais elevada de GA<sub>3</sub> (18 mg L<sup>-1</sup>) e de PBZ (7.200 mg L<sup>-1</sup>) aumentou a RE. Todas as doses de PBZ e as doses de 3,5 e 9 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub> aplicadas durante a formação da umbela, aumentaram o DA. A aplicação de PBZ durante a emissão do escapo nas doses de 3.600 e 7.200 mg L<sup>-1</sup> também aumentou a RE. A aplicação de PBZ e GA<sub>3</sub> em diferentes épocas não influenciou no número de sementes. O genótipo RAL 159 tem capacidade para florescer e produzir sementes botânicas. O PBZ na maioria das variáveis promoveu efeito negativo em pelo menos uma dose e/ou época. O trabalho deve ser repetido com foco nas aplicações antes da diferenciação e durante a emissão do escapo, com doses mais elevadas de GA<sub>3</sub>.

Palavras-chave: *Allium sativum* L. Giberelina. Paclobutrazol.

## ABSTRACT

The quest to restore the seed production capacity in garlic is essential to increase genetic variability and facilitate the selection of superior genotypes. Thus, the objective of this work was to evaluate the effect of applying flowering inducers at different phenological stages of garlic on flowering induction and on the production of botanical seeds. The experiment was implemented in the experimental area of the horticulture sector of the Federal University of Lavras (UFLA), municipality of Lavras, MG, in April 2020. It was carried out in a randomized block design (DBC), with four replications. The test consisted of a double factorial (7x3), with seven doses of flowering inducers - GA<sub>3</sub> and PBZ (3.5 mg L<sup>-1</sup> of GA<sub>3</sub>; 9 mg L<sup>-1</sup> of GA<sub>3</sub>; 18 mg L<sup>-1</sup> of GA<sub>3</sub>; 480 mg L<sup>-1</sup> of PBZ; 3600 mg L<sup>-1</sup> of PBZ; 7200 mg L<sup>-1</sup> of PBZ; control without flowering inducer) and three application times (before the differentiation of the floral scape, when the plant has four leaves; at the beginning of floral scape emission; and at the beginning of umbel formation). Plant height at flowering, number of leaves at flowering, length of floral scape, number of topsets per umbel, total flowers per umbel, flower/topset ratio, days to percentage of plants that produced scape, percentage of plants that produced umbels, total umbels with seeds, total seeds per experimental unit, percentage of plants with seeds. Also record the pollen grain viability and stigma receptivity. Data were prepared by analysis of variance using the F test (p<0.05). When necessary, they were performed as Box-cox and Rank transformations. In the presence of significance, the means were grouped by the Scott-Knott criterion for application times and for the different flowering inducers, at 5% significance. There was a negative influence of PBZ on variables related to flowering, reducing the percentage of plants with scape (PPE), percentage of plants with umbels (PPU) and the flower/topset ratio (RFT). The doses of 18 mg L<sup>-1</sup> of GA<sub>3</sub> and 7,200 mg L<sup>-1</sup> of PBZ applied during umbel formation increased the stigma receptivity (SR). The application of GA<sub>3</sub> at the beginning of floral scape emission increased the percentage of plants with umbels (PPU). The PBZ dose of 7,200 mg L<sup>-1</sup>, applied before scape differentiation increased the production of botanical seeds. The RAL 159 genotype has a natural capacity to produce botanical seeds in small quantities, without the need for exogenous application of phytohormones. The work should be repeated with a focus on applications before differentiation and during scape emission, with higher doses of GA<sub>3</sub> and PBZ.

Keywords: *Allium sativum* L. Gibberellin. Paclobutrazol.

## 1 INTRODUÇÃO

O alho (*Allium sativum* L.) é uma planta monocotiledônea da família Aliaceae, comumente conhecida por sua exigência combinada entre temperatura e fotoperíodo, necessitando de temperaturas baixas e fotoperíodos longos para se reproduzir e desenvolver (WU *et al.*, 2016). Seu órgão comercial são os bulbos, compostos por bulbilhos, bastante utilizados na culinária em todo o mundo (SHANG *et al.*, 2019). O alho é muito atrativo para o consumo devido à alta taxa de compostos aromáticos, que constituem o flavor e por ser rico em compostos bioativos, vitaminas, minerais e óleos essenciais (SALEHI *et al.*, 2019).

A espécie perdeu sua capacidade de propagação sexuada ao longo da evolução e seleção de genótipos de maior potencial produtivo (MALIK *et al.* 2017). Atualmente, esta forma de reprodução é realizada através de sua estrutura que possui uma gema subterrânea envolta por escamas carnudas, denominada de bulbilho (MAYER *et al.*, 2015). Desta forma, o alho é propagado de forma assexuada, não permitindo a recombinação meiótica, reduzindo a diversidade genética (SHEMESH-MAYER; GOLDSTEIN, 2018), apesar da ocorrência de florescimento na cultura.

O florescimento do alho ocorre em alguns casos, mas o desenvolvimento da semente é interrompido em vários estágios durante e após a meiose, ocorrendo o abortamento das flores (TCHÓRZEWSKA *et al.*, 2018). A carência de reprodução sexuada no alho aumenta a suscetibilidade da planta a patógenos, a estresses bióticos e abióticos, reduz a produtividade e dificulta o melhoramento genético (REHMAN *et al.*, 2020). Para contornar estes problemas é necessário a busca por genótipos com capacidade de florescimento e produção de sementes viáveis, resultando em aumento de variabilidade genética. Isto pode promover a obtenção de genótipos mais produtivos, resistentes às principais pragas e doenças, eliminação de anormalidades fisiológicas que dificultam o estabelecimento da cultura e com melhor qualidade de bulbos, a partir do melhoramento genético.

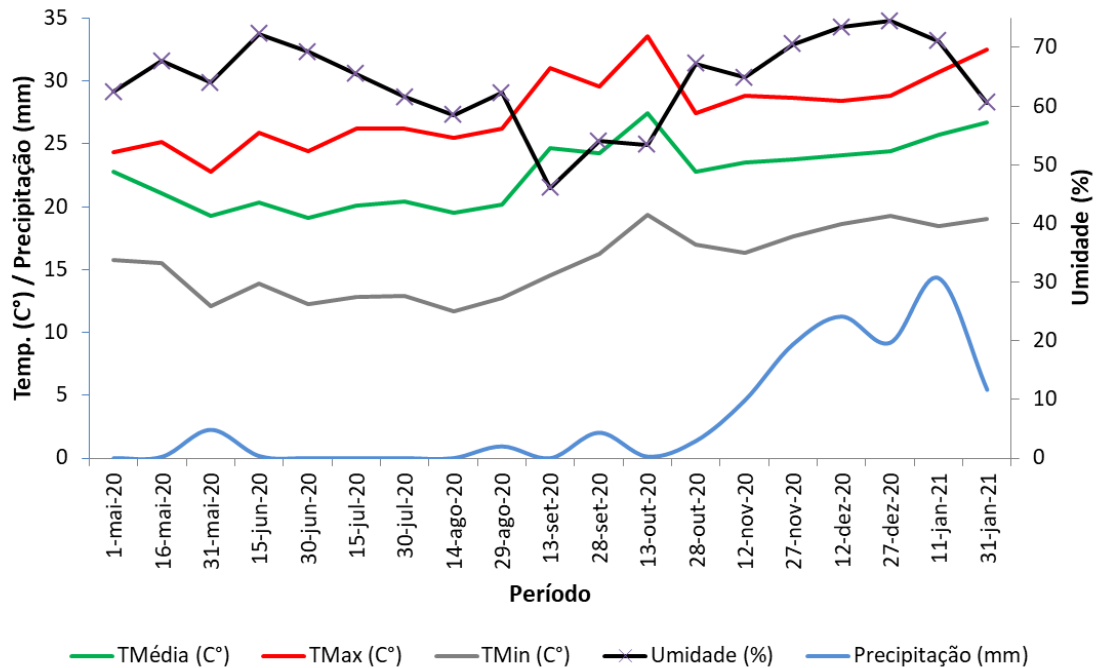
Como os genótipos primitivos produzem sementes botânicas (ETOH; SIMON, 2002), assim como alguns genótipos atuais também já demonstraram essa capacidade (JENDEREK; HANNAN, 2004), é possível induzir a reprodução sexuada através da manipulação ambiental e hormonal (KAMENETSKY *et al.*, 2004). Os fitormônios são utilizados para controlar o metabolismo, o crescimento e a morfogênese de plantas, influenciando em muitas partes do seu desenvolvimento (MORATA *et al.*, 2021). A aplicação exógena de fitormônios permite a regulação do metabolismo das plantas e um desenvolvimento correto dos órgãos reprodutivos, formando flores viáveis (KURUSU *et al.*, 2017; MOG *et al.*, 2019).

O conteúdo hormonal em órgãos reprodutivos de espécies que possuem genótipos estéreis e férteis variam, principalmente no balanço de giberelina e citocinina (KURUSU *et al.*, 2017). A amplitude da relação giberelina/citocinina varia de acordo com cada espécie e genótipo em estudo (HUANG *et al.*, 2003). Para aumentar a relação giberelina/citocinina, pode-se realizar a aplicação exógena de giberelina ativa (GA<sub>3</sub>) e o inverso ocorre com a aplicação de inibidores da síntese de giberelina, como o paclobutrazol (PBZ) (AYA *et al.*, 2009; PHASRI *et al.*, 2019). Para a cultura do alho, os estudos da aplicação exógena de fitormônios influenciando o florescimento e a produção de sementes são praticamente inexistentes (ou incipientes). Dessa forma, objetivou-se com este trabalho, avaliar o potencial de florescimento e a indução da produção de sementes botânicas viáveis de alho em decorrência da utilização de indutores de florescimento.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no setor de olericultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras-MG, entre os meses de fevereiro de 2020 a janeiro de 2021. O setor está localizado a 21°13'20.99'' de latitude sul, 44°58'12.81'' de longitude oeste e 910 metros de altitude, sendo o clima da região do tipo Cwa, temperado subtropical (mesotérmico) com inverno seco e verão chuvoso, caracterizado por uma estação seca de abril a setembro e uma estação chuvosa de outubro a março, de acordo com a classificação internacional de Köppen-Geiger (KÖPPEN; GEIGER, 1928).<sup>7</sup>

Figura 1 - Temperatura máxima, média e mínima, umidade relativa e precipitação no município de Lavras-MG, referentes ao período de maio de 2020 a janeiro de 2021.



Fonte: Estação Climatológica da Universidade Federal de Lavras (2021).

Foram utilizados bulbilhos do genótipo RAL 159 oriundo do banco de germoplasmada Embrapa Hortaliças, cedidos à Universidade Federal de Lavras para a realização de novos experimentos. Trabalhos preliminares realizados em 1997, demonstraram que este genótipo tem potencial de produção de sementes, utilizando-se a vernalização dos bulbos juntamente com a extração manual dos topsets das inflorescências (JENDEREK; HANNAN, 2004). Resultados semelhantes foram verificados por Taula (2019), constatando que este genótipo também apresenta potencial de florescimento em Lavras, MG.

Os bulbos foram submetidos à vernalização por um período de 50 dias em câmara frigorífica no Departamento de Agricultura da UFLA, à temperatura de  $4\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de 70% (RESENDE; HABER; PINHEIRO, 2016). A retirada dos bulbos da câmara fria ocorreu no dia do plantio para a realização da debulha. Posteriormente, os bulbilhos foram classificados visualmente de acordo com os tamanhos.

O experimento foi conduzido em vasos com capacidade de  $5\text{ dm}^3$ , em área aberta. O solo utilizado é classificado como Latossolo Vermelho Distroférico Típico, de textura argilosa, com 33% de areia, 18% de silte e 49% de argila (CURI *et al.*, 2017). A correção do solo foi realizada com base na análise de solo (TABELA 1). A calagem foi realizada nos vasos, buscando elevar a saturação à 70%, com uma dose de 10 g por vaso de calcário dolomítico, com PRNT de 80%. A adubação com P foi realizada no plantio, sendo aplicados 1,5 g de  $\text{P}_2\text{O}_5$  por vaso, via Superfosfato Simples. O K foi parcelado em três épocas (plantio, 20 e 60 dias após o plantio) e o N foi parcelado em duas aplicações (20 e 60 dias após o plantio). As doses de  $\text{K}_2\text{O}$  e N foram de 0,375 g por vaso, utilizando Cloreto de Potássio, Nitrato de Potássio e Ureia. O Mg foi fornecido além da calagem, via Sulfato de Magnésio, 20 dias após o plantio, com a dose de 0,04 g por vaso. Os micronutrientes B e Zn foram aplicados via solo 20 dias após o plantio, com as doses de 4,9 mg de B e 18,6 mg de Zn por vaso, via Borax e Sulfato de Zinco. Também foram realizadas aplicações foliares com micronutrientes semanalmente.

Tabela 1- Análise química do solo utilizado no experimento.

| pH  | P                            | K <sup>+</sup>     | P-rem | Ca <sup>2+</sup>                               | Mg <sup>2+</sup> | Al <sup>3+</sup> | H+Al <sup>3+</sup> | CTC  | S  | B                              | Fe   | Mn  | Zn  | Cu                   | M.O  |
|-----|------------------------------|--------------------|-------|--|------------------|------------------|--------------------|------|----|--------------------------------|------|-----|-----|----------------------|------|
|     | ----mg.dm <sup>-3</sup> ---- | mg.L <sup>-1</sup> |       | -----cmol <sub>c</sub> .dm <sup>-3</sup> ----- |                  |                  |                    |      |    | -----mg.dm <sup>-3</sup> ----- |      |     |     | dag.kg <sup>-1</sup> |      |
| 5,1 | 0,42                         | 38,36              | 11,6  | 1,51   | 0,15             | 0,10             | 4,3                | 8,92 | 19 | 0,08                           | 28,7 | 8,5 | 0,8 | 2,75                 | 1,56 |

P, K = (Mehlich-1); S = (Fosfato monocálcio em ácido acético); Ca, Mg, Al = (KCl 1 mol.L<sup>-1</sup>); H + Al = (SMP); Cu, Fe, Mn, Zn = (Mehlich-1); B = (água quente); M.O = (Oxidação:  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{ 4N} + \text{H}_2\text{SO}_4\text{ 10N}$ ).

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo da UFLA (2021).

Os bulbilhos foram plantados nos vasos a 0,05 m de profundidade, com espaçamento de 0,10 m entre plantas. O sistema de irrigação utilizado foi na forma localizada, pelo sistema de gotejo superficial, mantendo o solo próximo à capacidade de campo. O monitoramento periódico de pragas e doenças foi realizado de acordo com o histórico da área e condições climáticas. De maneira preventiva realizou-se três aplicações de Rovral® SC, em 30, 60 e 90 dias após o plantio, e duas aplicações de Amistar top® SC, em 45 e 75 dias, para controle de doenças fúngicas. Para o controle de trips (*Frankliniella schultzei*) foram feitas duas

aplicações aos 45 e 60 dias após o plantio, utilizando o inseticida Pirate<sup>®</sup> SC. Para o controle das plantas daninhas, as capinas foram realizadas manualmente de acordo com o nível de infestação. Após ocorrer o florescimento, realizou-se a remoção dos topsets manualmente, à medida que eram produzidos na inflorescência do alho.

O experimento foi conduzido em delineamento em blocos casualizados (DBC), com quatro repetições. O estudo foi constituído por um fatorial duplo (7x3), sendo sete doses de indutores de florescimento – GA<sub>3</sub> e PBZ (3,5 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>; 9 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>; 18 mg L<sup>-1</sup> de GA<sub>3</sub>; 480 mg L<sup>-1</sup> de PBZ; 3.600 mg L<sup>-1</sup> de PBZ; 7.200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ; testemunha sem indutor de florescimento) e três épocas de aplicações (antes da diferenciação do escapo floral, quando a planta estava com 4 folhas; no início da emissão do escapo floral e; no início da formação da umbela). Cada parcela foi composta por três vasos de 5 dm<sup>3</sup> para compor cada unidade experimental, totalizando 252 vasos. Em cada vaso foram plantados seis bulbilhos, sendo que após a brotação foram deixadas apenas quatro plantas por vaso, totalizando 12 plantas por unidade experimental. Os tratamentos foram aplicados em toda a planta com auxílio de um pulverizador costal manual de 5 litros, adotando-se um volume de calda de 300 L ha<sup>-1</sup>. No tratamento sem GA<sub>3</sub> e PBZ (testemunha) foi aplicado apenas água, sem os produtos.

Foram avaliadas as alturas das plantas no florescimento (cm), representadas pela distância entre o nível do solo até a extremidade da folha mais comprida; número de folhas no florescimento, realização da contagem de todas as folhas totalmente expandidas; comprimento do escapo floral (cm), determinado a partir da medição do local em que o escapo sai do pseudocaulo até sua extremidade; porcentagem de plantas que produziram escapo floral (%); porcentagem de plantas que produziram umbelas (%); total de topsets por umbela, pela contagem de cada topset presente nas umbelas; total de flores por umbela, pela contagem das flores em cada umbela; relação de flores/topsets, simbolizando a proporção de flores por topsets; dias até a antese, caracterizado pela contagem da abertura da umbela até a antese; total de umbelas com semente, representado pela contagem de umbelas com sementes; total de sementes na parcela, caracterizado pela contagem da quantidade de sementes em determinada unidade experimental e; a porcentagem de plantas com sementes (%).

Para avaliar a viabilidade dos grãos de pólen, foram realizados testes histoquímicos com o uso de dois corantes: solução de Alexander 2% (ALEXANDER, 1980) e carmim acético 1% (KEARNS; INOUE, 1993). Após a antese, na fase de desdobramento dos estames, as anteras totalmente formadas foram coletadas pela manhã para confecção das lâminas. Uma gota de cada corante foi adicionada sobre sua respectiva lâmina e aproximadamente 200 grãos de pólen foram misturados aos corantes e cobertos por uma lamínula para serem analisados,



conforme adaptação da metodologia sugerida por Silva *et al.* (2020). Considerou-se como viáveis os grãos de pólen que apresentassem protoplasma bem corado conforme especificação de cada corante e exina intacta e inviáveis os que apresentarem coloração fraca, protoplasma reduzido ou ausente e tamanho anormal.

Para avaliar a receptividade do estigma, foram coletadas cinco flores em três épocas: pré-antese (2 dias antes da antese); na antese e 2 dias após a antese. Os estigmas foram imersos em solução de peróxido de hidrogênio (3%) por três minutos. Ao observar a liberação de bolhas de ar, significa que ocorreu uma reação do peróxido de hidrogênio com a enzima peroxidase, desse modo, o estigma está receptivo (ZEISLER, 1933). A receptividade foi estimada conferindo-se os seguintes graus: (-) sem reação, quando não emitia nenhuma bolha; (+) resposta positiva fraca, quando emitia de uma a cinco bolhas; (++) resposta positiva forte, quando emitia de cinco a dez bolhas; (+++) resposta positiva muito forte, quando emitia mais que dez bolhas de forma contínua, segundo a metodologia adaptada de Dafni e Maués (1998).

A normalidade e homogeneidade das variâncias foram verificadas e os dados submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p < 0,05$ ). Quando necessário, os dados foram submetidos a transformações Box-cox e Rank. Na presença de significância, as médias foram agrupadas pelo critério de Scott-Knott para as épocas de aplicação e para os diferentes indutores de florescimento, a 5% de significância.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se interação significativa da época de aplicação com as doses dos indutores de florescimento para os dias até a antese (DA), relação flores/topsets (RFT), porcentagem de plantas com escapo (PPE), porcentagem de plantas com umbelas (PPU) e receptividade do estigma (RE) (TABELA 1).

Tabela 2 - Significância do p-valor e coeficiente de variação para as características altura de planta (AP), número de folhas (NF), comprimento de escapo (CE), porcentagem de plantas com escapo (PPE), porcentagem de plantas com umbelas (PPU), total de topsets (TT), total de flores (TF), relação flores/topsets (RFT), dias até a antese (DA), receptividade do estigma (RE), grãos de pólen viáveis em corante carmim acético (GPVCA) e grãos de pólen viáveis em corante solução de Alexander (GPVSA), total de umbelas com sementes (TUS), total de sementes (TS), porcentagem de plantas com sementes (PPS), porcentagem de umbela com sementes (PUS) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021.

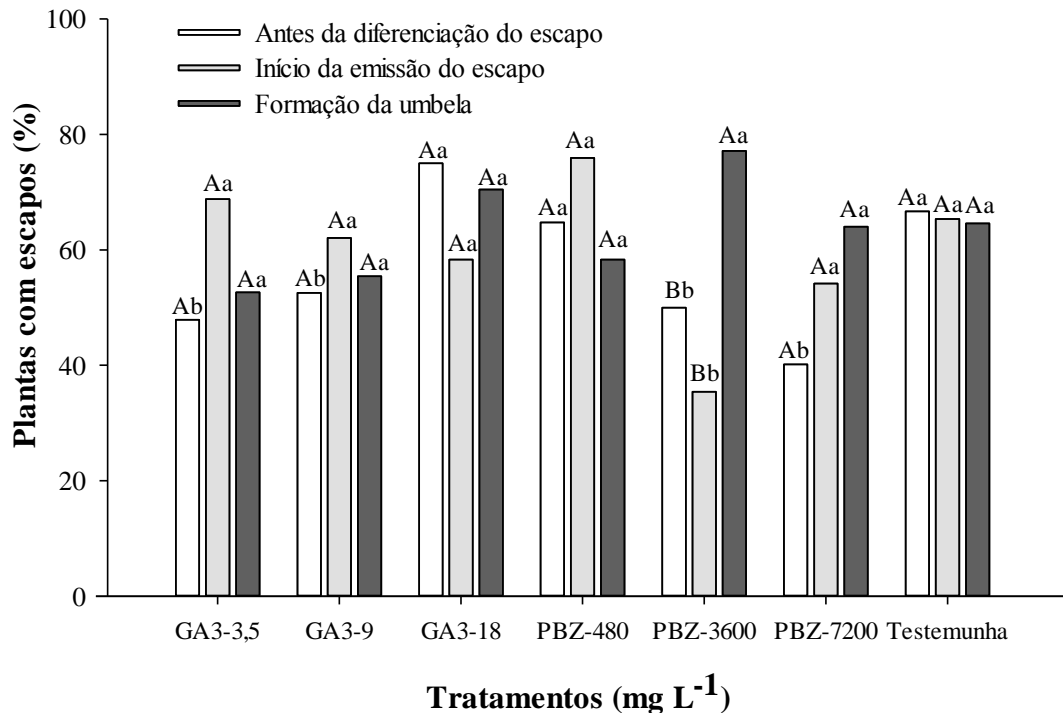
| Variáveis | Doses Indutores (DI) | Época (E)           | Interação (DI x E)   | CV (%) |
|-----------|----------------------|---------------------|----------------------|--------|
| AP        | 0,059 <sup>ns</sup>  | 0,599 <sup>ns</sup> | 0,749 <sup>ns</sup>  | 7,2    |
| NF        | 0,328 <sup>ns</sup>  | 0,544 <sup>ns</sup> | 0,761 <sup>ns</sup>  | 2,81   |
| CE        | 0,183 <sup>ns</sup>  | 0,260 <sup>ns</sup> | 0,108 <sup>ns</sup>  | 30,68  |
| PPE       | 0,029 <sup>*</sup>   | 0,219 <sup>ns</sup> | 0,004 <sup>**</sup>  | 23,0   |
| PPU       | 0,151 <sup>ns</sup>  | 0,524 <sup>ns</sup> | 0,046 <sup>*</sup>   | 43,65  |
| TT        | 0,323 <sup>ns</sup>  | 0,516 <sup>ns</sup> | 0,058 <sup>ns</sup>  | 54,68  |
| TF        | 0,147 <sup>ns</sup>  | 0,675 <sup>ns</sup> | 0,563 <sup>ns</sup>  | 14,36  |
| RFT       | 0,313 <sup>ns</sup>  | 0,381 <sup>ns</sup> | <0,001 <sup>**</sup> | 56,62  |
| DA        | 0,160 <sup>ns</sup>  | 0,704 <sup>ns</sup> | 0,044 <sup>*</sup>   | 11,71  |
| RE        | 0,031 <sup>*</sup>   | 0,482 <sup>ns</sup> | 0,335 <sup>*</sup>   | 46,86  |
| GPUCA     | 0,654 <sup>ns</sup>  | 0,562 <sup>ns</sup> | 0,295 <sup>ns</sup>  | 43,52  |
| GPVSA     | 0,679 <sup>ns</sup>  | 0,393 <sup>ns</sup> | 0,054 <sup>ns</sup>  | 34,91  |
| TUS       | 0,262 <sup>ns</sup>  | 0,402 <sup>ns</sup> | 0,706 <sup>ns</sup>  | 85,95  |
| TS        | 0,124 <sup>ns</sup>  | 0,331 <sup>ns</sup> | 0,913 <sup>ns</sup>  | 101,07 |
| PPS       | 0,221 <sup>ns</sup>  | 0,386 <sup>ns</sup> | 0,651 <sup>ns</sup>  | 82,96  |
| PUS       | 0,294 <sup>ns</sup>  | 0,071 <sup>ns</sup> | 0,755 <sup>ns</sup>  | 83,95  |

\*\* , \* , ns = significativo com  $p < 0,01$ ,  $p < 0,05$  e não significativo, respectivamente.

Fonte: Da autora (2021).

Ao considerar o desdobramento das épocas dentro de cada dose dos indutores de florescimento, a porcentagem de plantas com escapos florais (PPE) variou significativamente quando utilizado o PBZ na dose de 3.600 mg L<sup>-1</sup>. Foi observado que neste tratamento a aplicação antes da diferenciação e no início da emissão do escapo reduziu a PPE (FIGURA 2).

Figura 2 - Porcentagem de plantas que produziram escapos (PPE) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (épocas de aplicação dentro de cada dose dos indutores) ou minúscula (dose dos indutores dentro de cada época de aplicação) não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, à 5% de significância.

Fonte: Da autora (2021).

Considerando o efeito das doses de indutores em cada época, na aplicação antes da diferenciação houve redução na PPE nos tratamentos com GA<sub>3</sub> nas doses de 3,5 e 9 mg L<sup>-1</sup> e de PBZ nas doses de 3.600 e 7.200 mg L<sup>-1</sup>. Já na pulverização, no início da emissão do escapo, apenas o PBZ na dose de 3.600 mg L<sup>-1</sup> promoveu redução na PPE. Durante a formação da umbela não houve diferença significativa entre as doses de indutores aplicadas (FIGURA 2).

A aplicação de PBZ promoveu aumento na porcentagem de florescimento da mangueira ‘Ubá’ na dose de 1,62 g por metro linear de copa (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Para as cultivares Rosa, Bourbon e Tommy Atkins, as doses de 0,8, 0,8 e 1,5 g m<sup>-1</sup> por metro linear de copa também aumentaram a porcentagem de florescimento, respectivamente (CHATZIVAGIANNIS *et al.*, 2014; COELHO; BATISTA; ALVES, 2014). Estes resultados

evidenciam a variação de respostas entre os genótipos em relação às doses para o florescimento. Para uma mesma cultivar, a sensibilidade ao PBZ vai depender da idade das plantas. Em geral, plantas mais jovens são mais sensíveis e respondem a menores doses de PBZ do que as plantas mais velhas (ALBUQUERQUE; MOUCO, 2000).

Na aplicação antes da diferenciação, doses maiores de PBZ e doses menores de GA<sub>3</sub> reduziram a PPE. Isso pode ter ocorrido devido a aplicação ter sido realizada quando 50% das plantas estavam no estágio de desenvolvimento adequado para a aplicação do tratamento, e as demais plantas estavam atrasadas ou adiantadas. Essa pequena diferença de desenvolvimento pode ter afetado a resposta ao estímulo hormonal externo. O PBZ pode promover a redução do crescimento e encurtamento do caule, sendo que sua resposta fisiológica pode variar de acordo com o estresse ambiental e estágio fenológico que a planta se encontra na fase de aplicação (TESFAHUN, 2018).

A aplicação de ácido giberélico promove a indução floral em algumas espécies, devido ao aumento da sua concentração na parte aérea (meristema apical) antes de ocorrer a transição floral (MUNIANDI *et al.*, 2018). Porém, altos níveis de giberelina inibem a floração e estimulam o crescimento vegetativo, enquanto o declínio nos teores de giberelina induzem a floração (RAMÍREZ; DAVENPORT; FISCHER, 2010). É evidente a interação entre as doses de indutores aplicadas e a época de aplicação, pois na aplicação antes da diferenciação, ambos os indutores reduziram a PPE e na fase de emissão do escapo apenas o PBZ reduziu.

A aplicação no estágio de formação da umbela não gerou diferenças significativas na PPE, pois a aplicação ocorreu após a emissão do escapo. Na manga, a aplicação de PBZ também deve ocorrer antes da diferenciação floral para uma maior resposta no florescimento (UPRETI *et al.*, 2013). A redução na PPE com a aplicação de PBZ no início da sua emissão pode evidenciar que nessa fase a planta é mais suscetível a falta de giberelina, e que essa deficiência pode comprometer o desenvolvimento final dos escapos. A aplicação de PBZ reduz os níveis de giberelinas ativas e aumenta os níveis de ABA e citocininas (UPRETI *et al.*, 2013).

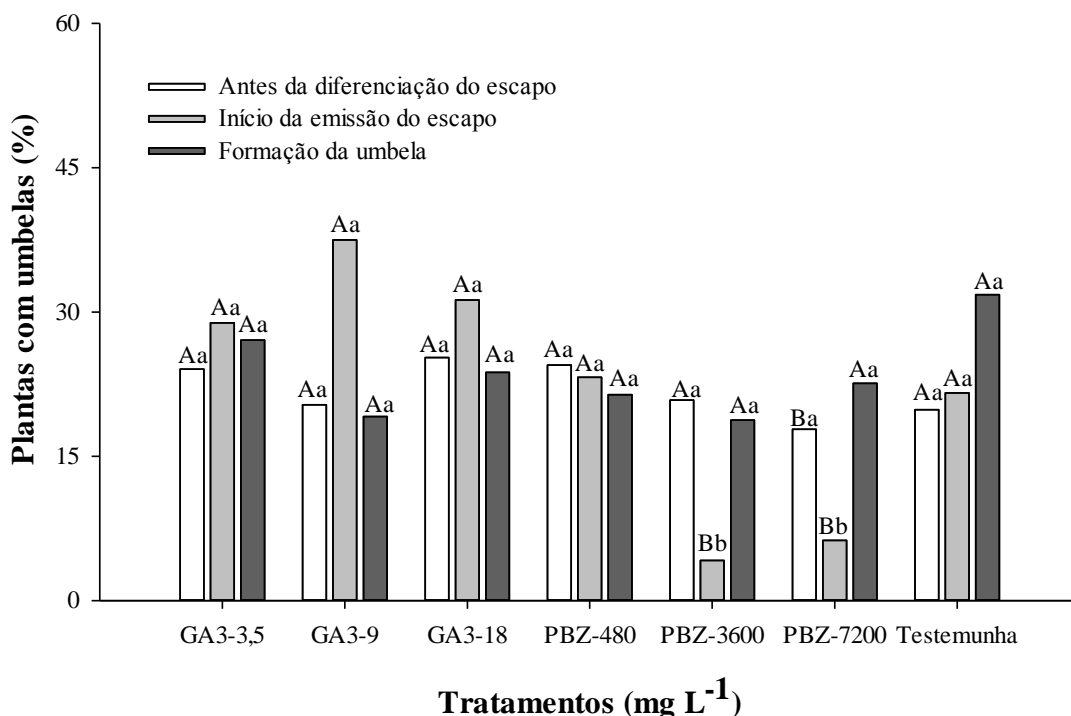
A testemunha sem aplicação hormonal apresentou emissão de escapo floral semelhante aos tratamentos com fitorreguladores. Isto evidencia que o genótipo RAL 159 apresenta potencial para emitir este órgão, que é responsável pela origem das flores, como descrito por Taula (2019). A emissão de escapos florais indica que os genótipos apresentam adaptabilidade ao florescimento na região. Esta variável tem alta representatividade, pois é a estrutura responsável pela produção de sementes da planta (LOPEZ-BELLIDO *et al.*, 2016).

A diferenciação da região do meristema apical da haste de floração (escapo) desencadeia a floração durante o seu alongamento, dando origem às umbelas, que são as inflorescências do

alho e são resultados da emissão dos escapos florais (GHAEMIZADEHA; DASHTIA; SHAFEINIA, 2019).

Em relação a porcentagem de plantas com umbelas (PPU), ao comparar as épocas de aplicação em cada dose de indutor aplicado, os tratamentos com PBZ nas doses de 3.600 e 7.200 mg L<sup>-1</sup> foram os únicos que proporcionaram diferenças significativas para a característica. A dose de 3.600 mg L<sup>-1</sup> aplicada antes da diferenciação e durante a formação da umbela aumentou significativamente a PPU em relação à aplicação no início da emissão do escapo. O aumento na PPU foi de 20,83% e 22,57%, respectivamente, nestas fases fenológicas, contra apenas 4,16%, quando a aplicação é feita no início da emissão do escapo (FIGURA 3). Em estudo conduzido por Karagüzel e Baktir (2008), a aplicação de paclobutrazol no *Allium robertianum*, espécie ornamental, também mostrou efeito significativo, reduzindo o crescimento do escapo floral e o diâmetro da umbela, com o uso das doses de 5 e 10 mg planta<sup>-1</sup>.

Figura 3 - Porcentagem de plantas com umbelas (PPU) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (épocas de aplicação dentro de cada dose dos indutores) ou minúscula (dose dos indutores dentro de cada época de aplicação) não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, à 5% de significância. Transformação Box-cox (y+1);  $\lambda=0,6$ .

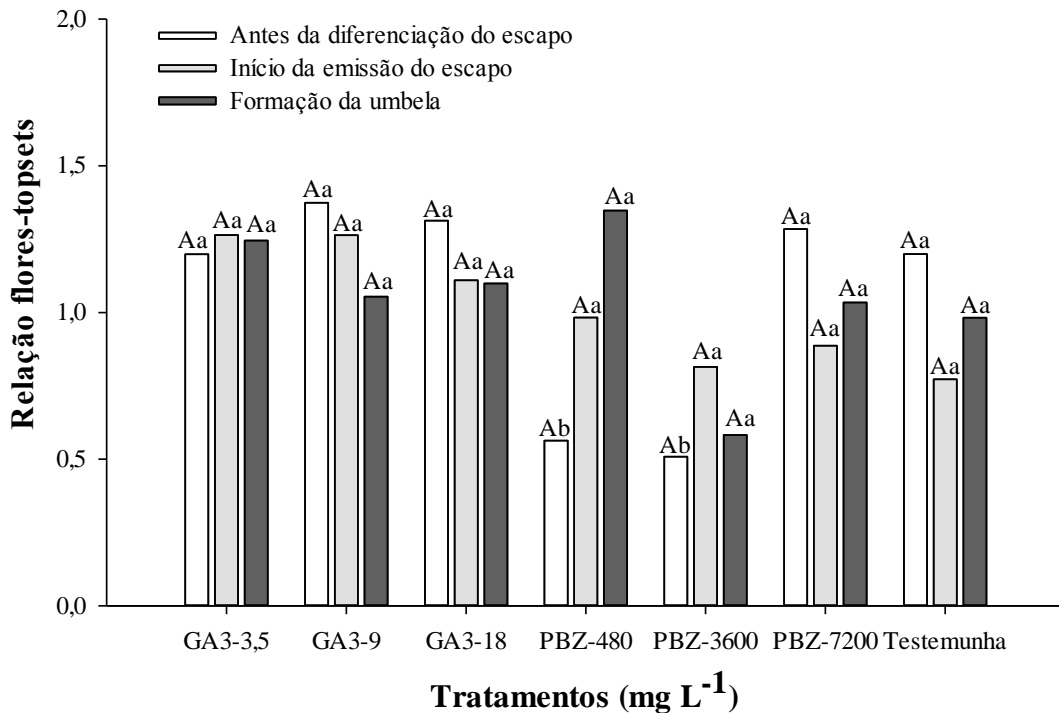
Fonte: Da autora (2021).

Quando aplicadas no início da emissão do escapo floral, houve redução de 80,7% e 71,05% da PPU para as doses de 3.600 e 7.200 mg L<sup>-1</sup> de PBZ respectivamente, em relação a

testemunha (FIGURA 3). As plantas de alho produzem escapos que podem secar e morrer antes de formarem a umbela, por isso, é comum ocorrer diferenças nas quantidades de escapos e umbelas. A PPU apresentou comportamento distinto do observado para a emissão do escapo floral, sendo que apenas doses de PBZ influenciaram negativamente a PPU. Isto é justificado pois, apesar de se esperar que seja desenvolvida uma umbela em cada escapo, é comum que as plantas de alho produzam escapos que podem secar e morrer antes de formarem a umbela, e assim, ser comum ocorrerem diferenças nas quantidades de escapos e umbelas. Pode-se verificar que, mesmo com menor PPE, quando aplicado GA<sub>3</sub> nas doses de 3,5 e 9 mg L<sup>-1</sup> não houve efeito negativo sobre PPU. Isto pode estar associado à menor mortalidade e melhor desenvolvimento de escapos nesses tratamentos.

Para a relação flores/topsets (RFT) das plantas de alho, não houve diferença significativa entre as épocas de aplicação em cada dose de indutor aplicada (FIGURA 4). Ao observar o desdobramento das doses dos indutores em cada época de aplicação, nota-se que a aplicação de PBZ antes da diferenciação do escapo nas doses de 480 e 3.600 mg.L<sup>-1</sup>, reduz RFT tanto em relação aos demais tratamentos com indutores de crescimento quanto em relação a testemunha (FIGURA 4). A presença de topsets atrapalha o desenvolvimento dos botões florais, pela disputa por espaço físico e competição por nutrientes, causando o abortamento das flores no alho (WU *et al.*, 2019).

Figura 4 - Relação flores/topsets (RFT) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (épocas de aplicação dentro de cada dose dos indutores) ou minúscula (dose dos indutores dentro de cada época de aplicação) não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, à 5% de significância. Transformação Rank in blocks (RT-2).

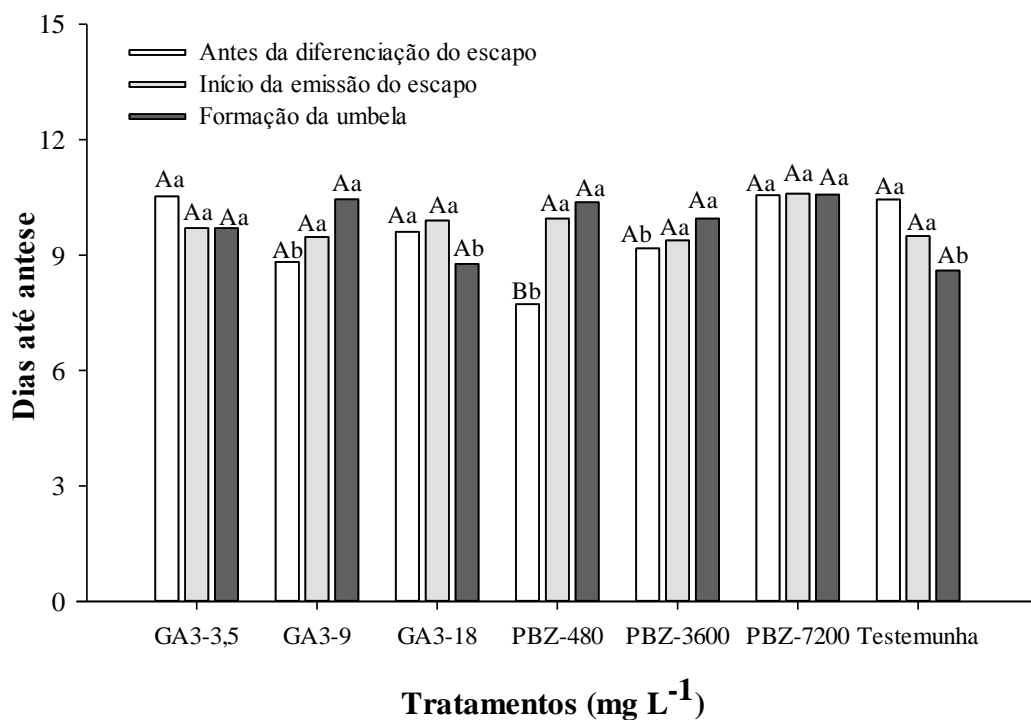
Fonte: Da autora (2021).

Os topsets são pequenos bulbilhos que se formam nas inflorescências devido a diferenciação de gemas vegetativas ao longo da sua formação (MATHEW *et al.*, 2011). Para produção de flores viáveis é necessário realizar a remoção dos topsets, de forma manual com o auxílio de uma pinça para que as flores tenham espaço para se desenvolverem (JENDEREK; HANNAN, 2004). A remoção dos topsets ocorre quando eles estão visíveis e, nessa fase, ele já está competindo com as flores por espaço e nutrientes. A aplicação de PBZ em doses específicas, seguiu a tendência da PPE e da PPU, reduzindo também a RFT. Quanto menor essa relação, mais prejudicial se torna para o desenvolvimento das flores, por isso, a importância de identificar tratamentos com maior RFT. O aumento no número de topsets com a aplicação de PBZ antes da diferenciação, pode estar relacionado com o balanço negativo de giberelina, reduzindo a diferenciação das flores. Bao *et al.* (2019) verificaram a importância da regulação hormonal na transição das gemas para o florescimento em *Arabidopsis* sp., sendo a giberelina o hormônio com maior influência.

Analisando as diferenças entre as épocas de aplicação dentro de cada dose de indutor, para os dias até a antese (DA), verificou-se diferenças significativas apenas na aplicação de 480

mg L<sup>-1</sup> de PBZ (FIGURA 5). A aplicação antes da diferenciação necessitou de menos dias para atingir a antese, em média 7,73 dias, quando comparada com a aplicação no início da emissão do escapo e na formação da umbela, com cerca de 9,95 e 10,38 dias. Em geral, para atingirem a antese, as plantas de alho precisaram de 7 a 11 dias após a abertura da umbela (MAYER *et al.*, 2013).

Figura 5 - Dias até antese (DA) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (épocas de aplicação dentro de cada dose dos indutores) ou minúscula (dose dos indutores dentro de cada época de aplicação) não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, à 5% de significância.

Fonte: Da autora (2021)

Ao considerar o efeito das doses dos indutores em cada época de aplicação, nota-se que antes da diferenciação do escapo floral, a aplicação de GA<sub>3</sub> na dose de 9 mg L<sup>-1</sup> e de PBZ nas doses de 480 e 3.600 mg L<sup>-1</sup> necessitaram de menos dias para atingir a antese (FIGURA 5). Durante a emissão do escapo, não houve diferença entre as doses de indutores aplicadas. Já na formação da umbela, apenas a testemunha e o GA<sub>3</sub> na dose de 18 mg L<sup>-1</sup> apresentaram menos dias até a antese.

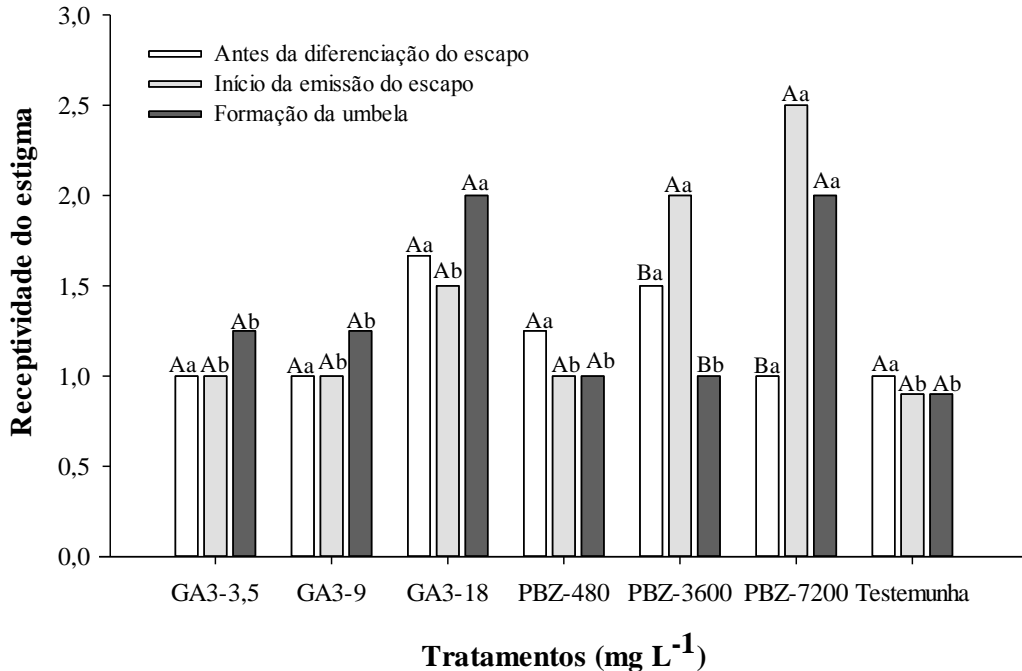
Na cultura da manga (*Mangifera indica* L.), a aplicação de PBZ contribui para a diferenciação floral e a formação de eixos de inflorescências e flores, com redução na necessidade de dias para atingir a antese (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Já a GA<sub>3</sub> em *Vigna radiata*



L. não promoveu efeito sobre os parâmetros de florescimento, incluindo o número de dias até a antese, mostrando a menor sensibilidade ao GA<sub>3</sub> para essa espécie (RAINA *et al.*, 2020). Em *Anemone coronaria* e *A. biflora* houve um aumento nos dias para atingir a antese e na longevidade da flor quando aplicado GA<sub>3</sub> na dose de 150 mg L<sup>-1</sup> (YARI; ROEIN; SABOURI, 2021).

Após o desenvolvimento da antese, ocorre o esvaziamento do saco polínico, com máximo crescimento dos estames e o estigma se torna receptivo (MAYER *et al.*, 2013). Ao avaliar a receptividade do estigma (RE), desdobrando as épocas de aplicação dentro de cada dose de indutor aplicado, houve diferença significativa quando utilizado PBZ nas doses de 3.600 e 7.200 mg L<sup>-1</sup>. Na dose de 3.600 mg L<sup>-1</sup>, a aplicação de PBZ no início da emissão do escapo possibilitou um aumento na RE, quando comparado com as demais épocas. Já para a dose de 7.200 mg L<sup>-1</sup>, a aplicação no início da emissão do escapo e na formação da umbela promoveu melhores resultados (FIGURA 6).

Figura 6 - Receptividade do estigma (RE) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (épocas de aplicação dentro de cada dose dos indutores) ou minúscula (dose dos indutores dentro de cada época de aplicação) não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, à 5% de significância.

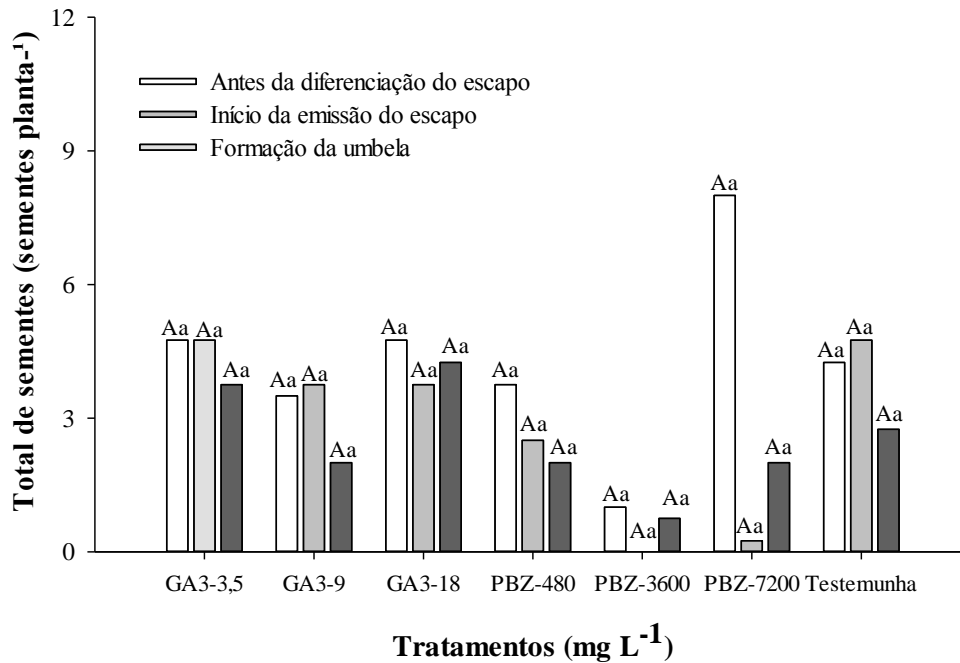
Fonte: Da autora (2021).

Comparando as doses dos indutores em cada época de aplicação, observa-se que não houve diferença significativa entre as doses dos indutores aplicadas antes da diferenciação do

escapo floral (FIGURA 6). Ao aplicar os indutores no início da emissão do escapo floral, os tratamentos com PBZ nas doses de 3.600 e 7200 mg L<sup>-1</sup> apresentaram maior receptividade do estigma. Quando aplicados no início da formação da umbela, os tratamentos com GA<sub>3</sub> na dose de 18 mg L<sup>-1</sup> e PBZ na dose de 7.200 mg L<sup>-1</sup> proporcionaram maior receptividade do estigma. O estigma é caracterizado como receptivo quando está apto a receber o grão de pólen e promover sua germinação e a fase floral que caracteriza a receptividade estigmática, podendo variar de espécie para espécie (PRECZEHNAK; RESENDE; SILVA, 2011). Segundo Wu *et al.* (2019), a aplicação exógena de GA<sub>3</sub> (60 mg L<sup>-1</sup>) em alguns genótipos de arroz foi capaz de aumentar a receptividade do estigma, principalmente em temperaturas mais elevadas onde a receptividade era reduzida.

Para a produção de sementes não houve diferença significativa, provavelmente devido ao alto coeficiente de variação (101,07%). Porém, pode-se observar que os tratamentos com aplicação de PBZ na dose de 7.200 mg L<sup>-1</sup> proporcionou maior produção de sementes em relação aos demais. Já a dose de 3.600 mg L<sup>-1</sup> em todas as épocas aplicadas, e a dose de 7.200 mg L<sup>-1</sup> quando aplicada no início da emissão do escapo, proporcionaram menores quantidades de sementes, apesar não diferirem significativamente (FIGURA 7), possivelmente resultante da menor PPE (FIGURA 2).

Figura 7 - Total de sementes (TS) em alho submetido a diferentes indutores de florescimento e épocas de aplicação. Lavras-MG, 2021.



Médias seguidas pela mesma letra maiúscula (épocas de aplicação dentro de cada dose dos indutores) ou minúscula (dose dos indutores dentro de cada época de aplicação) não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott, à 5% de significância.

Fonte: Da autora (2021).

Em condições adequadas de temperatura, fertilidade, umidade do solo e boa disponibilidade de luz solar (fotoperíodo), a planta de alho pode formar escapo floral e produzir sementes (WU *et al.*, 2016), sendo fundamental a manipulação ambiental e a interação GxE.

A aplicação de giberelina em trabalhos conduzidos na cultura do arroz (*Oryza sativa* L.) com doses de  $10^{-5}$  M de GA<sub>4</sub> exógena em inflorescências de arroz estéril proporcionou um aumento na germinação do grão de pólen (KURUSU *et al.*, 2017). Já a aplicação de  $10^{-5}$  M de GA<sub>3</sub> resultou no resgate do desenvolvimento correto da antera em mutantes de arroz sensíveis à aplicação (AYA *et al.*, 2009).

A aplicação do paclobutrazol na espécie ornamental *Allium robertianum*, pertencente ao mesmo gênero do alho cultivado, mostrou efeito significativo no crescimento e florescimento com o uso das doses de 5 e 10 mg planta<sup>-1</sup> (KARAGÜZEL; BAKTIR, 2008). Porém, para o presente trabalho, sua aplicação reduziu a produção de sementes.

A aplicação de hormônios vegetais provavelmente não tenha induzido o aumento da produção de sementes pelas plantas de alho, pois a testemunha, mesmo sem aplicação dos indutores, também produziu sementes. Confirmando assim, que o genótipo RAL 159 possui

capacidade natural para produção de sementes botânicas, mesmo sem aplicação exógena de fitormônios.

De maneira geral, para todas as variáveis relacionadas ao florescimento que foram influenciadas significativamente pela aplicação dos indutores, PPE, PPU, RFT, DA e RE, em pelo menos uma dose e/ou época, o PBZ promoveu um efeito negativo, demonstrando a importância da GA<sub>3</sub> para o florescimento. Para as próximas pesquisas deve-se realizar aplicações de doses mais elevadas de GA<sub>3</sub>, pois as doses testadas não diferiram da testemunha.

#### 4 CONCLUSÕES

Houve influência negativa do PBZ sobre as variáveis relacionadas ao florescimento, reduzindo a porcentagem de plantas com escapo (PPE), porcentagem de plantas com umbelas (PPU) e a relação flores/topsets (RFT).

As doses de  $18 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{GA}_3$  e de  $7.200 \text{ mg L}^{-1}$  de PBZ aplicadas durante a formação da umbela aumentaram a receptividade do estigma (RE).

A aplicação de  $\text{GA}_3$  no início da emissão do escapo floral aumentou a porcentagem de plantas com umbelas (PPU).

A dose de PBZ de  $7.200 \text{ mg L}^{-1}$ , aplicada antes da diferenciação do escapo aumentou a produção de sementes botânicas.

O genótipo RAL 159 possui capacidade natural para produção de sementes botânicas em pequenas quantidades, sem a necessidade de aplicação exógena de fitormônios.

O trabalho deve ser repetido com foco nas aplicações antes da diferenciação e durante a emissão do escapo, com doses mais elevadas de  $\text{GA}_3$  e PBZ.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, J. A. S.; MOUCO, M. A. C. **Manga: indução floral**. Brasília: Embrapa Semiárido, 2000. 34 p.
- ALEXANDER, M. P. A versatile stain for pollen fungi, yeast and bacteria. **Stain Technology**, [s.l.], v. 55, n. 1, p. 13-18, 1980.
- AYA, K.; UEGUCHI-TANAKA, M.; KONDO, M.; HAMADA, K.; YANO, K.; NISHIMURA, M.; MATSUOKA, M. Gibberellin modulates anther development in rice via the transcriptional regulation of GAMYB. **The Plant Cell**, [s.l.], v. 21, n. 5, p. 1453-1472, 2009.
- BAO, S.; HUA, C.; SHEN, L. YU, H. New insights into gibberellin signaling in regulating flowering in Arabidopsis. **Journal of Integrative Plant Biology**, [s.l.], v. 62, n. 1, p. 118-131, 2020.
- CHATZIVAGIANNIS, M. A.; SÃO JOSÉ, A. B.; BOMFIM, M. P.; OLIVEIRA JUNIOR, M. X.; REBOUÇAS, T. N. H. Flowering and productivity of the mango fruits 'Bourbon', 'Palmer' and 'Rosa' with use of paclobutrazol. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, [s.l.], v. 15, n. 1, p. 41-47, 2014.
- COELHO, E. F.; BATISTA, L. S.; ALVES, A. A. C. Flowering and fruit set of mango in different doses of paclobutrazol (PBZ). **Enciclopédia Biosfera**, [s.l.], v. 10, n. 19, p. 1117, 2014.
- CURI, N.; SILVA, S. H. G.; POGGERE, G. C.; MENEZES, M. D. **Mapeamento de solos e magnetismo no Campus da UFLA como traçadores ambientais**. Lavras: UFLA, 2017.
- DAFNI, A.; MAUES, M. M. A rapid and simple procedure to determine stigma receptivity. **Sexual Plant Reproduction**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 177-180, 1998.
- ETOH, T.; SIMON, P.W. Diversity, fertility and seed production of garlic. *In: Allium Crop Science: Recent Advances*. CAB International, 2002.
- GHAEMIZADEHA, F.; DASHTIA, F.; SHAFEINIA, A. Expression pattern of ABCDE model genes in floral organs of bolting garlic clone. **Gene Expression Patterns**, [s.l.], v. 34, p. 119059, 2019.
- HUANG, S.; CERNY, R. E.; QI, Y.; BHAT, D.; AYDT, C. M.; HANSON, D. D.; MALLOY, K. P.; NESS, L. A. Transgenic studies on the involvement of cytokinin and gibberellin in male development. **Plant Physiology**, [s.l.], v. 131, n. 3, p. 1270-1282, 2003.
- JENDEREK, M. M.; HANNAN, R. M. Variation in reproductive characteristics and seed production in the USDA garlic germplasm collection. **HortScience**, [s.l.], v. 39, n. 3, p. 485-488, 2004.
- KAMENETSKY, R.; SHAFIR, I. L.; ZEMAH, H.; BARZILAY, A.; RABINOWITCH, H. Environmental control of garlic growth and florogenesis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, [s.l.], v. 129, n. 2, p. 144-151, 2004.

KARAGÜZEL, O.; BAKTIR, I. **Growth and flowering responses of endemic *Allium robertianum* L. to paclobutrazol treatments.** In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FLOWER BULBS AND HERBACEOUS. 2008, 10., [s.l.]. **Proceedings [...].** [s.l.], 2008 .p. 119-122.

KEARS, C. A.; INOUE, D. W. **Techniques for pollination biologists.** Niwot: University Press of Colorado, 1993.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde.** Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm, 1928.

KURUSU, T.; KOYANO, T.; KITAHATA, N.; KOJIMA, M.; HANAMATA, S.; SAKAKIBARA, H.; KUCHITSU, K. Autophagy-mediated regulation of phytohormone metabolism during rice anther development. **Plant Signaling & Behavior**, [s.l.], v. 12, n. 9, p. e1365211, 2017.

LOPEZ-BELLIDO, F. J.; LOPEZ-BELLIDO, R. J.; MUÑOZ-ROMERO, V.; FERNANDEZ-GARCIA, P.; LOPEZ-BELLIDO, L. New phenological growth stages of garlic (*Allium sativum* L.). **Annals of Applied Biology**, [s.l.], v. 169, n. 3, p. 423-439, 2016.

MALIK, G.; MAHAJAN, V.; DHATT, A. S.; SINGH, D. B.; SHARMA, A.; MIR, J. I.; WANI, S. H.; YOUSUF, S.; SHABIR, A.; MALIK, A. A. Present status and future prospects of garlic (*Allium sativum* L.) improvement in India with special reference to long day type. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, [s.l.], v. 6, n. 5, p. 929-933, 2017.

MATHEW, D.; FORER, Y.; RABINOWITCH, H. D.; KAMENETSKY, R. Effect of long photoperiod on the reproductive and bulbing processes in garlic (*Allium sativum* L.) genotypes. **Environmental and Experimental Botany**, [s.l.], v. 71, n. 2, p. 166-173, 2011.

MAYER, E. S.; BEN-MICHAEL, T.; KIMHI, S.; FORER, I.; RABINOWITCH, H. D.; KAMENETSKY, R. Effects of different temperature regimes on flower development, microsporogenesis and fertility in bolting garlic (*Allium sativum*). **Functional Plant Biology**, [s.l.], v. 42, n. 6, p. 514-526, 2015.

MAYER, E. S.; WINIARCZYK, K.; BŁASZCZYK, L.; KOSMALA, A.; RABINOWITCH, H. D.; KAMENETSKY, R. Male gametogenesis and sterility in garlic (*Allium sativum* L.): barriers on the way to fertilization and seed production. **Planta**, [s.l.], v. 237, n. 1, p. 103-120, 2013.

MOG, B.; JANANI, P.; NAYAK, M. G.; ADIGA, J. D.; MEENA, R. Manipulation of vegetative growth and improvement of yield potential of cashew (*Anacardium occidentale* L.) by Paclobutrazol. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 257, p. e108748, 2019.

MORATA, B. R.; NEBAUER, S. G.; CARPINTERO, V. G.; CAÑIZARES, J.; MINGUET, E. G.; MOZOS, M.; MOLINA, R. V. Flower induction and development in saffron: Timing and hormone signalling pathways. **Industrial Crops and Products**, [s.l.], v. 164, p. 113370, 2021.

MUNIANDI, S. K. M.; HOSSAIN MD. A.; ABDULLAH, M. P.; SHUKOR, N. A. A. B. Gibberellic acid (GA<sub>3</sub>) affects growth and development of some selected kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) cultivars. **Industrial Crops & Products**, [s.l.], v. 18, p. 180-187, 2018.

OLIVEIRA, M. B.; FIGUEIREDO, M. G. F.; PEREIRA, M. C. T.; MOUCO, M. A. C.; RIBEIRO, L. M.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O. Structural and cytological aspects of mango floral induction using paclobutrazol. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 262, n. 27, p. 109057, 2020.

PHASRI, W.; NEERA, S.; JOGLOY, S.; HONGPAKDEE, P. Effect of paclobutrazol application on growth, flowering and inulin content of ornamental *Helianthus tuberosus* L. **Acta Horticulturae**, [s.l.], v. 1237, p. 161-168, 2019.

PRECZEHNAK, A. P.; RESENDE, J. T. V.; SILVA, P. R. Receptividade estigmática em cultivares de tomate rasteiro. **Horticultura Brasileira**, [s.l.], v. 29, n. 2, p. 3411-3416, 2011.

RAINA, S. K.; YADAV, P. S.; SINGH, A. K.; RASKAR, N.; RANE, J.; MINHAS, P. S. Exogenous gibberellic acid does not induce early flowering in mungbeans (*Vigna radiata* (L.) Wilczek.). **Legume Research-An International Journal**, [s.l.], v. 43, n. 5, p. 653-657, 2020.

RAMÍREZ, F.; DAVENPORT, T. L.; FISCHER, G. The Number of Leaves Required for Floral Induction and Translocation of the Florigenic Promoter in Mango (*Mangifera indica* L.) in a Tropical Climate. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 123, p. 443-453, 2010.

REHMAN, M. A.; KHATTAK, S. H.; INAM, S.; REHMAN, N.; HUSSAIN, M.; ALI, S.; SHAHID, M. M.; KHAN, M. R. Unveiling of genetic variability in garlic (*Allium sativum* L.) genotypes grown in Pakistan. **Journal of Pure and Applied Agriculture**, [s.l.], v. 5, n. 3, p. 53-64, 2020.

RESENDE, F.V.; HABER, L.L.; PINHEIRO, J.B. **Sistema de produção de alho**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2016.

SALEHI, B.; ZUCCA, P.; ORHAN, I. E.; AZZINI, E.; ADETUNJI, C. O.; MOHAMMED, S. A.; BANERJEE, S. K.; SHAROPOV, F.; RIGANO, D.; SHARIFI-RAD, J. Allicin and health: A comprehensive review. **Trends in Food Science & Technology**, [s.l.], v. 86, n. 1, p. 502-516, 2019.

SHANG, A.; CAO, S. Y.; XU, X. Y.; GAN, R. Y.; TANG, G. Y.; CORKE, H.; MAVUMENGWANA, V.; LI, H. B. Bioactive compounds and biological functions of garlic (*Allium sativum* L.). **Foods**, [s.l.], v. 8, n. 7, p. 246, 2019.

SHEMESH-MAYER, E.; GOLDSTEIN, R. K. Recent advances in sexual propagation and breeding of garlic. **Horticultural Reviews**, [s.l.], v. 46, n. 1, p. 1-38, 2018.

SILVA, D. M.; ZAMBON, C. R.; TECHIO, V. H. & PIO, R. Floral characterization and pollen germination protocol for *Castanea crenata* Siebold & Zucc. **South African Journal of Botany**, [s.l.], v. 130, p. 389-395, 2020.



TAULA, A. J. V. **Caracterização de acessos de alho quanto ao desempenho agrônômico e capacidade de florescimento**. 2019. 50 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2019.

TCHÓRZEWSKA, D. L. R.; GRUSZECKI, W. I.; WINIARCZYK, K. Comparative studies of live tapetum cells in sterile garlic (*Allium sativum*) and fertile leek (*Allium ampeloprasum*) using the fluorescence lifetime imaging analytical method. **South African Journal of Botany**, [s.l.], v. 117, p. 222-231, 2018.

TESFAHUN, W. A review on: Response of crops to paclobutrazol application. **Cogent Food & Agriculture**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 152-169, 2018.

UPRETI, K. K.; REDDY, Y. T. N.; PRASAD, S. S.; BINDU, G. V.; JAYARAM, H. L.; RAJAN, S. Hormonal changes in response to paclobutrazol induced early flowering in mango cv. Totapuri. **Scientia Horticulturae**, [s.l.], v. 150, p. 414-418, 2013.

WU, C.; CUI, K.; HU, Q.; WANG, W.; NIE, L.; HUANG, J.; PENG, S. Enclosed stigma contributes to higher spikelet fertility for rice (*Oryza sativa* L.) subjected to heat stress. **The Crop Journal**, [s.l.], v. 7, n. 3, p. 335-349, 2019.

WU, C.; WANG, M.; CHENG, Z.; MENG, H. Response of garlic (*Allium sativum* L.) bolting and bulbing to temperature and photoperiod treatments. **Biology Open**, [s.l.], v. 5, n. 4, p. 507-518, 2016.

WU, Z.; JIANG, F.; LIU, M.; XING, X.; FU, C.; WU, Z. The flower bud differentiation process of *Allium sativum* and its anatomical structure and morphological characteristics changes. **Journal of Plant Resources and Environment**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 25-33, 2019.

YARI, V.; ROEIN, Z.; SABOURI, A. Exogenous 5-azaCytidine accelerates flowering and external GA<sub>3</sub> increases ornamental value in Iranian *Anemone* accessions. **Scientific Reports**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 1-15, 2021.

ZEISLER, M. Über die abgrenzung des eigentlichen narbenfläche mit hilfe von reaktionen. **Beihefte zum Botanischen Centralblatt**, [s.l.], v. 58, p. 308-318, 1933.