

ANTONIO CARLOS LEITE ALVES

**QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO SOB EFEITO DO
TRATAMENTO DE SEMENTES E CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda* (J. E.
SMITH)**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: João Carlos Cardoso Galvão

Coorientador: Eliseu José Guedes Pereira

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da
Universidade Federal de Viçosa - Campus**

T

A474q
2022

Alves, Antonio Carlos Leite, 1995-
Qualidade fisiológica de sementes de milho sob efeito do
tratamento de sementes e controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E.
Smith): / Antonio Carlos Leite Alves. - Viçosa, MG, 2022.
1 tese eletrônica (51 f.): il. (algumas color.).
Orientador: João Carlos Cardoso Galvão
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento
de Agronomia, 2022.
Inclui bibliografia.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.669>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Milho - Doenças e pragas; 2. *Spodoptera frugiperda*;
3. Sementes - Fisiologia; 4. Diamidas (Inseticida); 5. Neonicotinóides
(Inseticida); 6. Carbamato; 7. Vitalidade; I. Galvão, João Carlos
Cardoso II. Universidade Federal de Viçosa.. Departamento de
Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia III. Título

CDD 22. ed. 633.1521

Bibliotecário(a) responsável: BRUNA SILVA CRB-6/2552

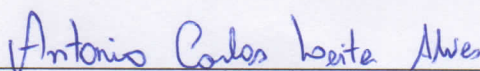
ANTONIO CARLOS LEITE ALVES

**QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO SOB EFEITO DO
TRATAMENTO DE SEMENTES E CONTROLE DE *Spodoptera frugiperda* (J. E.
SMITH)**

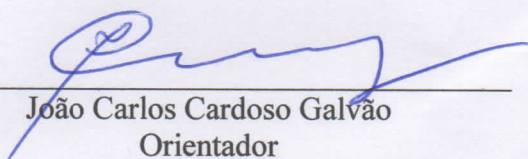
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 20 de setembro de 2022.

Assentimento:



Antonio Carlos Leite Alves
Autor



João Carlos Cardoso Galvão
Orientador

*A minha avó, Maria Das Dores Nunes Alves (in
memorian), pelo exemplo de amor e
solidariedade.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida.

Aos meus pais, Raimundo e Francisca Nilza, pelo carinho e cuidado com minha educação.

Aos meus irmãos Adriana Leite, Cícero Ernando e Tassiano pela amizade e carinho.

Aos meus sobrinhos Isabela, Artur, Pedro e Maria Júlia por serem alegria.

A Bruna, pelo convívio, carinho e incentivo em todas as minhas escolhas.

Ao meu cunhado Márcio pelo incentivo em sempre ir mais longe.

Aos meus amigos Toshik Iarley, Emilly Pereira, Patrícia Carvalho e Nina pela ajuda na condução do experimento e pelos ótimos momentos de conversas e risadas.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realizar a pós-graduação.

Ao Departamento de Agronomia e ao Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, pela oportunidade de realização do doutorado.

Ao professor João Carlos C. Galvão, pela orientação e companheirismo.

Ao professor Eliseu J. G. Pereira, pela coorientação e amizade.

Aos membros da banca, Roberto Azevedo, Jacinto Batista, Emerson Trogello, Aaron Martinez, Eduardo de Paula e Steliane Pereira.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

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

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

(Martin Luther King)

BIOGRAFIA

Filho dos agricultores Raimundo Alves Nunes e Francisca Nilza Brito Leite Alves, Antônio Carlos Leite Alves nasceu em sua residência, no Sítio Unha de Gato – Lavras da Mangabeira, interior do Ceará, na madrugada do dia 14 de outubro de 1995. Seu primeiro contato com os estudos foi na Escola São Francisco, no sítio em que residia, onde estudou até a quarta série, dando continuidade ao ensino fundamental na sede daquele município, sendo parte na Escola Alda Férrer Augusto Dutra – cursou da quinta a sétima série- e do oitavo ao nono ano como aluno bolsista no Colégio São Vicente. No início de 2010 ingressa no Instituto Federal do Ceará – *Campus Crato*, para cursar o ensino médio unificado ao curso Técnico em Agropecuária, e o conclui antecipadamente, tendo em vista a sua aprovação no ensino superior. Em 2012 ingressa no Curso de Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal do Cariri, com pesquisa desenvolvida na área de Entomologia Agrícola e foi bolsista no laboratório dessa área. Em 2017 ingressa no Mestrado acadêmico em Agronomia pela Universidade Federal da Paraíba – *Campus Areia*, onde continua a desenvolver a sua pesquisa na área de Entomologia, tendo concluído o curso em apenas um ano. Em 2018 é aprovado nas seleções de Doutorado da Universidade Federal da Paraíba, Universidade Federal de Viçosa e também na Universidade Federal de Santa Maria, optando pela UFV, desenvolve a sua pesquisa na área de Fitotecnia. Desde o ensino médio, é aluno pesquisador bolsista, o que lhe permitiu a permanência e dedicação exclusiva aos estudos, tendo em vista a sua origem humilde. Em meados de 2020 ingressa no mercado de trabalho no Oeste da Bahia, onde atua como pesquisador. Em 20 de setembro de 2022 submete a tese para apreciação da banca avaliadora. Ao discorrer, resumidamente, esse viés de sua trajetória estudantil, fica o aprendizado de que com determinação, persistência e foco, voos mais altos podem ser alçados até mesmo por aqueles que pensam que não têm asas para voar.

RESUMO

ALVES, Antonio Carlos Leite, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, setembro de 2022. **Qualidade fisiológica de sementes de milho sob efeito do tratamento de sementes e controle de *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)**. Orientador: João Carlos Cardoso Galvão. Coorientador: Eliseu José Guedes Pereira.

A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), é considerada a principal praga da cultura do milho. Apresenta ocorrência generalizada e potencial de ataque em todas as fases de desenvolvimento da planta, causando redução na produtividade. O uso de inseticidas no tratamento de sementes (TS) tem aumentado, em razão da facilidade de utilização, seletividade aos organismos não alvos e eficácia no controle desse inseto-praga. As sementes tratadas com inseticidas podem sofrer alteração na qualidade fisiológica, principalmente quando estas são tratadas e armazenadas. As sementes com baixo potencial fisiológico têm a germinação e o vigor das plântulas menores, causando redução no estande de plantas e consequentemente perdas na produtividade. Nesse contexto, o objetivo foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes de milho tratadas com inseticidas e submetidas a diferentes períodos de armazenamento e comparar a eficiência de controle de *S. frugiperda* com inseticidas em tratamento de sementes em casa de vegetação e laboratório. No capítulo um deste trabalho a qualidade fisiológica das sementes de milho foi avaliada em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 (tratamentos de sementes - sementes não tratadas, sementes tratadas com os inseticidas imidacloprido + tiodicarbe, clorantraniliprole, ciantraniliprole e carbofurano) x 5 (períodos de armazenamento – 0, 30, 60, 90 e 120 dias). A germinação, emergência, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, índice de velocidade de emergência, comprimento de parte aérea, comprimento de radícula, comprimento de plântula, teste de envelhecimento acelerado e teste de frio foram avaliados. O segundo capítulo deste trabalho foi realizado para avaliar os efeitos letais e subletais de inseticidas no tratamento de sementes sobre lagartas de 3º instar, sendo um realizado em casa de vegetação (lagartas infestadas diretamente no cartucho da planta) e outro em laboratório (infestadas em folhas destacadas da planta). Os experimentos foram conduzidos em esquema fatorial (3 inseticidas x 3 datas de emergência das plantas), em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 10 e 16 repetições, respectivamente. A mortalidade corrigida, desenvolvimento até pupa, massa de pupa e índice de desempenho foram avaliados. O tratamento com clorantraniliprole e o ciantraniliprole favorece a germinação e crescimento inicial de sementes de milho sob armazenamento. Esses

dois inseticidas podem ser usados para o tratamento de sementes armazenadas sem causar danos ao vigor. Sementes de milho armazenadas por mais de 90 dias diminuem o vigor e, conseqüentemente, o potencial germinativo. A aplicação de inseticidas via tratamento de sementes foi eficiente na mortalidade de *Spodoptera frugiperda* até 10 dias após emergência (DAE). Dos 3 aos 10 DAE, todos inseticidas estudados apresentam mesma eficiência em casa de vegetação. A mortalidade de *S. frugiperda* obtida em casa de vegetação e laboratório foram semelhantes nos primeiros dias da emergência, indicando que para essa variável ambos os métodos servem para estudo do efeito de tratamento de semente em lagarta do cartucho.

Palavras-chave: Milho. *Spodoptera frugiperda*. Tratamento de sementes. Diamidas. Neonicotinóides. Carbamato. Vigor.

ABSTRACT

ALVES, Antonio Carlos Leite, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2022. **Corn seeds' physiological quality under the effect of seed treatment and control of *Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)**. Adviser: João Carlos Cardoso Galvão. Co-adviser: Eliseu José Guedes Pereira.

The fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), is considered the main pest of corn. It presents widespread occurrence and potential for attack at all stages of plant development, causing a reduction in productivity. The use of insecticides in seed treatment (ST) has increased, due to the ease of use, selectivity to non-target organisms and effectiveness in controlling this insect pest. Seeds treated with insecticides may undergo changes in physiological quality, especially when they are treated and stored. Seeds with low physiological potential have the germination and vigor of smaller seedlings, causing a reduction in the plant stand and consequently losses in productivity. In this context, the objective was to evaluate the physiological quality of corn seeds treated with insecticides and submitted to different storage periods and to compare the efficiency of control of *S. frugiperda* with insecticides in seed treatment in a greenhouse and laboratory. In the first chapter of the thesis, the corn seeds' physiological quality was evaluated in a completely randomized design, in a factorial scheme 5 (seed treatments - untreated seeds, seeds treated with the insecticides imidacloprid + thiodicarb, chlorantraniliprole, cyantraniliprole and carbofuran) x 5 (storage periods - 0, 30, 60, 90 and 120 days). Germination, emergence, first germination count, germination speed index, emergence speed index, shoot length, radicle length, seedling length, accelerated aging test and cold test were evaluated. The second chapter of this work was carried out to evaluate the lethal and sublethal effects of insecticides in the treatment of seeds on 3rd instar caterpillars, one being carried out in a greenhouse (caterpillars infested directly in the plant cartridge) and another in the laboratory (infested in leaves detached from the plant). The experiments were carried out in a factorial scheme (3 insecticides x 3 plant emergence dates), in a completely randomized design, with 10 and 16 replications, respectively. Corrected mortality, development to pupae, pupal mass and performance index were evaluated. Treatment with chlorantraniliprole and cyantraniliprole favors germination and initial growth of maize seeds under storage. These two insecticides can be used to treat stored seeds without causing damage to vigor. Corn seeds stored for more than 90 days decrease vigor and, consequently, germination potential. The application of insecticides via seed treatment was efficient in the mortality of *Spodoptera frugiperda* up to

10 days after emergence (DAE). From 3 to 10 DAE, all insecticides studied showed the same efficiency in the greenhouse. The mortality of *S. frugiperda* obtained in the greenhouse and laboratory were similar in the first days of emergence, indicating that for this variable both methods are useful for studying the effect of seed treatment on fall armyworm.

Keywords: Corn. *Spodoptera frugiperda*. Seed treatment. Diamides. Neonicotinoids. Carbamate. Vigor.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Artigo I

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO (*Zea mays* L.) TRATADAS COM INSETICIDAS SOB EFEITO DO PERÍODO DE ARMAZENAMENTO

- Figura 1** - Porcentagem de germinação (A), primeira contagem de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e índice de velocidade de emergência (D) de plantas de milho (*Zea mays*) sob aplicação em inseticidas e tempo de armazenamento.....27
- Figura 2** - Comprimento de parte aérea (A), comprimento de radícula (B), comprimento de plântula (C) e massa seca total (D) de plantas de milho (*Zea mays*) sob aplicação em inseticidas e tempo de armazenamento.....29
- Figura 3** - Germinação de sementes submetidas ao envelhecimento acelerado (A), e teste de frio (B) plantas de milho (*Zea mays*) sob aplicação em inseticidas e tempo de armazenamento.....30

Artigo II

Metodologia para estudar o controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) por meio do tratamento de sementes

- Figura 1** - Mortalidade corrigida de planta intacta (A) e de folha colhida (B) de *Spodoptera frugiperda* em plantas de milho. Médias \pm erros padrões com mesma letra não diferem entre si ($p \leq 0,05$) pela diferença mínima de Fisher seguida de análise de variância.....44
- Figura 2** - Desenvolvimento até pupa (A), massa de pupa (B) e índice de desempenho (C) de *Spodoptera frugiperda* em plantas de milho. Médias \pm erros padrões com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).....45

LISTA DE TABELAS

Artigo II

Metodologia para estudar o controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) por meio do tratamento de sementes

- Tabela 1** - Análise de variância da mortalidade corrigida nos experimentos com larvas de *Spodoptera frugiperda* infestadas em laboratório e em casa de vegetação.....42
- Tabela 2** - Análise de variância para as variáveis desenvolvimento até pupa (dias), peso de pupa (mg) e índice de desempenho de larvas de 3º instar de *Spodoptera frugiperda* sobreviventes das infestações em laboratório e casa de vegetação aos 21 dias após emergência.....43

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 <i>Objetivo geral</i>	16
2.2 <i>Objetivos específicos</i>	16
3. REFERÊNCIAS	16

Artigo I

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO (<i>Zea mays</i> L.) TRATADAS COM INSETICIDAS SOB EFEITO DO PERÍODO DE ARMAZENAMENTO	20
RESUMO	20
ABSTRACT	20
1. INTRODUÇÃO.....	21
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
2.1 <i>Localização da Pesquisa</i>	22
2.2 <i>Tratamentos e Esquema Experimental</i>	23
2.3 <i>Testes de Qualidade Fisiológica de Sementes</i>	24
2.4 <i>Análise dos dados</i>	26
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4. CONCLUSÃO.....	31
5. REFERÊNCIAS	31

Artigo II

Metodologia para estudar o controle de <i>Spodoptera frugiperda</i> (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) por meio do tratamento de sementes	36
RESUMO	36
ABSTRACT	37
1. INTRODUÇÃO.....	38
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	39
2.1 <i>Condições experimentais e tratamento de sementes</i>	39
2.2 <i>Preparo do solo, semeadura e manejo das plantas de milho</i>	40
2.3 <i>Criação de <i>S. frugiperda</i> (Lepidoptera: Noctuidae)</i>	40
2.4 <i>Tratamentos e delineamento experimental</i>	41
2.5 <i>Análise dos dados</i>	42
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4. CONCLUSÕES	46
Agradecimentos	46
5. REFERÊNCIAS	46
Considerações finais.....	51

1. INTRODUÇÃO GERAL

O milho, *Zea mays* L., tem grande importância socioeconômica por ser utilizado na alimentação animal e humana e também pela indústria, na produção de cosméticos e etanol (EMBRAPA, 2015). A produção estimada do grão de milho no Brasil é de 118,0 milhões de toneladas para a safra 2021/2022 (CONAB, 2022). Atualmente, o país é o terceiro maior produtor mundial e o segundo maior exportador de grãos de milho (USDA, 2022).

Ainda que a cultura do milho apresenta dados de produção crescente nos últimos anos, muitos produtores têm a produtividade da lavoura reduzida devido ao ataque de insetos-pragas. No milho, a praga de maior importância é a lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). Esta praga está se disseminando de forma rápida e generalizada pelo mundo, com relatos de ocorrência inclusive na África e na Ásia (Sidana *et al.*, 2018; Nboyine *et al.*, 2020).

A *S. frugiperda* é um inseto altamente móvel e polífago (Westbrook *et al.*, 2016). Este inseto pode se alimentar de todos os tecidos da planta de milho. No entanto, é reconhecida facilmente pela injúria causada nas folhas mais novas da cultura (Hardke *et al.*, 2011; Maruthadurai e Ramesh, 2020). Essa lagarta promove a redução da área foliar das folhas mais novas, que são as mais importantes na realização do processo fotossintético. Isso interfere diretamente no acúmulo de biomassa e na produção da planta.

Nos cultivos de milho têm sido utilizados inseticidas foliares e cultivares Bt visando o controle da lagarta-do-cartucho. Todavia, a eficácia dessas tecnologias de controle está sendo perdida devido seu uso inadequado, aumentando assim, a seleção de populações de insetos resistentes (Zhu *et al.*, 2019; Souza *et al.*, 2019; Boaventura *et al.*, 2020). A adoção de estratégias, como o tratamento de sementes, pode auxiliar no manejo integrado desse inseto-praga. Atualmente três tipos de tratamento com inseticidas são recomendados para controle de *S. frugiperda*. Esses tratamentos são compostos por inseticidas diamidas ou carbamatos,

formulados separadamente ou em mistura com inseticida neonicotinoide e incluem os princípios ativos clorantraniliprole (Dermacor[®]), ciantraniliprole (Fortenza[®]) e imidacloprido + tiodicarbe (Cropstar[®]) (MAPA, 2019).

O tratamento de semente com inseticidas pode ser feito em pequena escala, a nível de propriedade rural, ou industrialmente, pelo fornecedor de sementes. O tratamento de sementes, comparado a aplicação com inseticidas foliares, apresenta como vantagens ocorrer em instalações controladas, levando a maior uniformidade e homogeneidade do tratamento, menor quantidade de produto por hectare e menor risco de contaminação ambiental.

Apesar do reconhecimento sobre os benefícios evidentes do tratamento de sementes, pouco se sabe a respeito dos efeitos que estes produtos podem causar à qualidade fisiológica das sementes. Além disso, este efeito pode ser influenciado pelo período de armazenamento das sementes, prática comum no tratamento industrial ou mesmo quando realizada em nível de propriedade pelo agricultor (Antonello *et al.*, 2009, Brzezinski *et al.*, 2015).

O tratamento de sementes com inseticidas tem demonstrado não apenas proteção contra o ataque de insetos, mas também efeitos na fisiologia das plantas (Ludwig *et al.*, 2011). Com o aumento do período de armazenamento, a qualidade fisiológica das sementes de milho é reduzida, devido principalmente a redução da atividade enzimática da peroxidase, catalase e α -amilase (Heberle *et al.*, 2019). Porém, alguns produtos de tratamento de sementes podem conferir um crescimento mais vigoroso e um melhor aproveitamento do potencial produtivo da planta, também conhecido como efeito fitotônico (Calafiori e Barberi, 2001; Pynenburg *et al.*, 2011).

A germinação e o vigor de sementes poder ser afetado negativamente devido ao uso de fungicidas e inseticidas no tratamento de sementes e submetidos ao armazenamento. Estudos tem evidenciado esse efeito em algumas culturas, como a soja e milho (Dan *et al.*, 2012; Tonin *et al.*, 2014). Por isso, é necessário a realização de estudos para comprovar quais dos

produtos usados no tratamento de sementes aumentam ou não a deterioração das sementes de milho no armazenamento.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral foi avaliar a qualidade fisiológica de sementes de milho tratadas com inseticidas e submetidas a diferentes períodos de armazenamento e comparar a eficiência de controle dos inseticidas no tratamento de sementes (TS) sobre *Spodoptera frugiperda* em casa de vegetação e laboratório.

2.2 Objetivos específicos

- I. Determinar o potencial máximo de germinação e vigor de sementes de milho tratadas com os inseticidas imidacloprido + tiodicarbe, clorantraniliprole, ciantraniliprole e carbofurano, submetidas a diferentes períodos de armazenamento;
- II. Avaliar a eficiência de inseticidas via tratamento de sementes (TS) no controle de *S. frugiperda*, visando determinar uma nova metodologia para esses estudos. Ou seja, se é análogo realizar experimentos em laboratório (folha retirada da planta) ou casa de vegetação (planta intacta) para determinar a mortalidade de *S. frugiperda*.

3. REFERÊNCIAS

Antonello, L. M.; Muniz, M. F. B.; Brand, S. C.; Rodrigues, J.; Menezes, N. L.; Kulczynski, S. M. Influência do tipo de embalagem na qualidade fisiológica de sementes de milho crioulo. *Revista Brasileira de Sementes*, v.31, n.4, p. 75-86, 2009.

Boaventura, D.; Bolzan, A.; Padovez, F. E. O.; Okuma, D. M.; Omoto, C.; Nauen, R. Detection of a ryanodine receptor target-site mutation in diamide insecticide resistant fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*. *Pest Management Science*, v. 76, p. 47–54, 2020.

Brzezinski, C. C.; Henning, A. A.; Abati, J.; Henning, F. A.; França-Neto, J. B.; Krzyanowski, F. C.; Zucareli, C. Seeds treatment times in the establishment and yield performance of soybean crops. *Journal of Seed Science*, v.37, n.2, p.147-153, 2015.

Calafiori, M. H.; Barbieri, A. A. Effects of seed treatment with insecticide on the germination, nutrients, nodulation, yield and pest control in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) culture. *Ecossistema*, v.26, n.1, p. 97–104, 2001.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*, v. 7 - Safra 2021/2022 - Sétimo levantamento, Brasília, p. 1-94, 2022.
<http://www.conab.gov.br>

Dan, L.G.M.; DAN, H.A.; Piccinin, G.G.; Ricci, T.T.; Ortiz, A.H.T. Tratamento de sementes com inseticida e a qualidade fisiológica de sementes de soja. *Revista Caatinga*, v. 25, n. 1, p. 45-51, 2012.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *Sistemas de Produção Embrapa – Cultivo do milho*. ISSN 1679-012X, novembro, 2015.

Hardke, J. T.; Leonard, B. R.; Huang, F.; Jackson, R. E. Damage and survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) on transgenic field corn expressing *Bacillus thuringiensis* Cry proteins. *Crop Protection*, v 30, p. 168-172, 2011.

Heberle, E.; Araujo, E. F.; Filho, A. F. de L.; Cecon, P. R.; Araujo, R. F.; Amaro, H. T. R. Qualidade fisiológica e atividade enzimática de sementes de milho durante o armazenamento. *Revista de Ciências Agrárias*, v. 42, n. 3, p. 657-665, 2019.

Ludwig, M. P.; Lucca Filho, O. A.; Baudet, L.; Dutra, L. M. C.; Avelar, S. A. G.; Crizel, R. L. Qualidade de sementes de soja armazenadas após recobrimento com aminoácido, polímero, fungicida e inseticida. *Revista Brasileira de Sementes*, v.33, n.3, p.395-406, 2011.

MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. AGROFIT: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. MAPA/CGAF/DFIA/DAS, Brasília, Brazil, 2019.

Maruthadurai, R.; Ramesh, R. Occurrence, damage pattern and biology of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on fodder crops and green amaranth in Goa, India. *Phytoparasitica*, v. 48, n.10, p. 15-23, 2020.

Nboyine, J. A.; Kusi, F.; Abudulai, M.; Badii, B. K.; Zakaria, M.; Adu, G. B.; Haruna, A.; Seidu, A.; Osei, V.; Alhassan, S.; Yahaya A. A new pest, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), in tropical Africa: Its seasonal dynamics and damage in maize fields in northern Ghana. *Crop Protection*, v. 127, p. 1-7, 2020.

Pynenburg, G. M.; Sikkema, P. H.; Robinson, D.; Gillard, C. L. The interaction of annual weed and white mold management systems for dry bean production in Canada. *Canadian Journal Plant Science*, v.91, p.587–598. 2011.

Sidana, J.; Singh, B.; Sharma, Om. P. Occurrence of the new invasive pest, fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in the maize fields of Karnataka, India. *Current Science*, v. 115, n. 4, p. 621 – 623, 2018.

SOUZA, C.S.F.; SILVEIRA, L.C.P.; PITTA, R.M.; WAQUIL, J.M.; PEREIRA, E.J.G.; MENDES, S.M. Response of field populations and Cry-resistant strains of fall armyworm to Bt maize hybrids and Bt-based bioinsecticides. *Crop Protection*, v. 120, p. 1-11, 2019.

Tonin, R.F.B.; Lucca-Filho, O.A.; Labbe, L.M.B.; Rossetto, M. Potencial fisiológico de sementes de milho híbrido tratadas com inseticidas e armazenadas em duas condições de ambiente. *Scientia Agropecuaria*, v.5, p. 07 – 16, 2014.

USDA, United States Department of Agricultur. *World Agricultural Production*. Disponível em: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/production.pdf>.

Westbrook, J. K.; Nagoshi, R. N.; Meagher, R. L.; Fleischer, S. J.; Jairam, S. Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. *International Journal of Biometeorology*, v.60, p. 255-267, 2016.

Zhu, C.; Niu, Y.; Zhou, Y.; Guo, J.; Chefe, G. P.; Preço, P. A.; Wen, X.; Huang, F. Survival and effective dominance level of a Cry1A.105/Cry2Ab2-dual gene resistant population of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) on common pyramided Bt corn traits. [*Crop Protection*](#), v.115, p. 84-91, 2019.

Artigo I

QUALIDADE FISIOLÓGICA DE SEMENTES DE MILHO (*Zea mays* L.) TRATADAS COM INSETICIDAS SOB EFEITO DO PERÍODO DE ARMAZENAMENTO

RESUMO

O milho (*Zea mays* L.) é considerado um dos cereais mais importante e amplamente utilizado para alimentação humana e para forragem animal. Essa cultura é atacada por diversas pragas durante todo o seu ciclo, sendo necessário o controle das mesmas. O tratamento de sementes com inseticidas é uma estratégia para diminuir o ataque de pragas no início do ciclo dessa planta. Contudo, pouco se sabe sobre o efeito desses produtos na qualidade fisiológica das sementes. Com isso, o objetivo deste trabalho foi verificar a qualidade fisiológica de sementes milho considerando o período de armazenamento e o tratamento químico com os inseticidas Imidacloprido + Tiodicarbe, Clorantraniliprole, Ciantraniliprole e Carbofurano. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 (tratamentos de sementes - sementes não tratadas, sementes tratadas com os inseticidas imidacloprido + tiodicarbe, clorantraniliprole, ciantraniliprole e carbofurano) x 5 (períodos de armazenamento – 0, 30, 60, 90 e 120 dias). A germinação, emergência, primeira contagem de germinação, índice de velocidade de germinação, índice de velocidade de emergência, comprimento de parte aérea, comprimento de radícula, comprimento de plântula, teste de envelhecimento acelerado e teste de frio foram avaliados. Sementes de milho armazenadas por mais de 90 dias diminuem o vigor e, conseqüentemente, o potencial germinativo. O tratamento com clorantraniliprole e o ciantraniliprole favorece a germinação e crescimento inicial de sementes de milho sob armazenamento. Esses dois inseticidas podem ser usados para o tratamento de sementes armazenadas sem causar danos ao vigor.

Palavras-chave: *Zea mays*, tratamento de sementes, tempo de armazenamento, vigor.

PHYSIOLOGICAL QUALITY OF CORN SEEDS (*Zea mays* L.) TREATED WITH INSECTICIDES UNDER THE EFFECT OF THE STORAGE PERIOD

ABSTRACT

Corn (*Zea mays* L.) is considered one of the most important cereals and it is widely used both for human consumption and animal fodder. This culture is attacked by several pests throughout its cycle, being necessary the control. Seed treatment with insecticides is a strategy

to reduce the attack of pests at the beginning of the cycle of this plant. However, little is known about the effect of these products on the seeds' physiological quality. Thus, the objective of this experiment was to verify the corn seeds' physiological quality considering the storage period and chemical treatment with the insecticides Imidacloprid + Thiodicarb, Chlorantraniliprole, Ciantraniliprole and Carbofuran. The experiment was carried out in a completely randomized design, in a factorial scheme 5 (seed treatments - untreated seeds, seeds treated with the insecticides imidacloprid + thiodicarb, chlorantraniliprole, cyantraniliprole and carbofuran) x 5 (storage periods - 0, 30, 60, 90 and 120 days). Germination, emergence, first germination count, germination speed index, emergence speed index, shoot length, radicle length, seedling length, accelerated aging test and cold test were evaluated. Corn seeds stored for more than 90 days decreased vigor and, consequently, germination potential. Treatment with chlorantraniliprole and cyantraniliprole favored germination and initial growth of maize seeds under storage. These two insecticides can be used to treat stored seeds without causing damage to vigor.

Keywords: *Zea mays*, seed treatment, storage time, vigor.

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays*) é um cereal fundamental para a agricultura brasileira, cultivado em todas as regiões do País (Contini et al., 2019), e em diferentes épocas do ano. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022), na safra 2021/2022 houve crescimento da área plantada, da produtividade e conseqüentemente da produção quando comparado à safra 2020/2021. A área plantada na atual safra foi de 21,3 milhões de hectares, com aumento de 6,5% em relação à safra anterior. A produtividade apresentou aumento de 24,6%, chegando a 5443 kg/ha (90,72 sacas/ha) e a produção chegou a 115,6 milhões de toneladas, com 32,7% de aumento.

Por se tratar de uma cultura semeada em todo território brasileiro, inúmeras são as pragas que a atacam, desde as sementes, raízes até a parte aérea (Santos et al., 2018), causando danos econômicos que levam a grandes perdas no produto final. A lagarta-do-cartucho, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae) é considerada a praga mais relevante, que compromete o rendimento e a qualidade da produção, ocasionando

prejuízos à lavoura que se estendem por todos os estádios de desenvolvimento, com importante impacto econômico (Barcelos et al., 2018; Santos et al., 2018).

Há vários manejos possíveis de serem adotados visando o controle da lagarta do cartucho na cultura do milho. Entre eles, está o tratamento de sementes, que é um manejo utilizado visando o controle do ataque da *S. frugiperda* no período da emergência do milho (Suganthi, et al., 2022). Podem ser usados diferentes inseticidas, com diferentes mecanismos de ação. Os produtos utilizados no tratamento de semente têm como ingredientes ativos imidacloprido (neonicotinoide) + tiodicarbe (carbamato), ciantraniliprole (diamida), clorantraniliprole (diamida) (Oliveira et al., 2022).

Apesar de ser uma prática benéfica para o manejo fitossanitário, alguns autores questionam as possíveis consequências da exposição de sementes a produtos químicos (Silva et al., 2019), podendo gerar comprometimento da qualidade fisiológicas das sementes. O tratamento de semente de milho com os inseticidas imidacloprido + tiodicarbe e fipronil diminuíram a germinação das sementes quando comparada às sementes não tratadas (Espíndola et al., 2018).

Apesar do reconhecimento sobre os benefícios evidentes do tratamento de sementes, poucos se sabe a respeito dos efeitos que estes produtos podem causar à qualidade fisiológica das sementes. Além disso, este efeito pode ser influenciado pelo período de armazenamento das sementes (Antonello et al., 2009). Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar a qualidade fisiológica de sementes milho considerando o período de armazenamento e o tratamento químico com os inseticidas Imidacloprido + Tiodicarbe, Clorantraniliprole, Ciantraniliprole e Carbofurano.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Localização da Pesquisa

As sementes utilizadas para os experimentos foram tratadas com inseticidas no laboratório de Interação Inseto-Planta, localizado no Instituto de Biotecnologia Aplicada à

Agropecuária – BIOAGRO da Universidade Federal de Viçosa - UFV e os testes para avaliar a qualidade fisiológica das sementes foram conduzidos no laboratório de Análises de Sementes da Universidade Federal de Viçosa – UFV.

2.2 *Tratamentos e Esquema Experimental*

As sementes de milho BM 709 Convencional utilizadas nos testes foram cedidas pela BIOMATRIX®. O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 (tratamentos de sementes) x 5 (períodos de armazenamento). Os fatores estudados foram: 1- sementes não tratadas, 2- sementes tratadas com os inseticidas imidacloprido 150 g L⁻¹ + tiodicarbe 450 g L⁻¹ SC (Cropstar®, suspensão concentrada; Bayer CropsScience, São Paulo, SP, Brasil), 3- clorraniliprole 625 g L⁻¹ FS (Dermacor®, suspensão concentrada para tratamento de sementes; Corteva Agrisciense, Barueri, SP, Brasil), 4- ciantraniliprole 600 g L⁻¹ FS (Fortenza®, suspensão concentrada para tratamento de sementes; Syngenta Proteção de Cultivos, São Paulo, SP, Brasil) e 5- carbofurano 350 g L⁻¹ FS (Furadan®, suspensão concentrada para tratamento de sementes; FMC Química do Brasil, Uberaba, MG, Brasil) nas dosagens máxima recomendadas para o controle de *Spodoptera frugiperda* na cultura do milho. Essas dosagens seguem as recomendações do fabricante. Cinco períodos de armazenamento foram estudados: 0, 30, 60, 90 e 120 dias após o tratamento das sementes. Após o tratamento, as sementes foram armazenadas em sacos de papel Kraft e mantidas em laboratório em condições ambiente, com temperatura (25 ± 2°C) e umidade relativa (60 ± 20%) registradas diariamente.

Foi contado o número de sementes utilizadas em todos os testes de qualidade para todos os tratamentos e em seguida pesou-se a amostra para calcular a quantidade de inseticida necessária para tratar cada amostra. Para aplicação dos produtos nas sementes, utilizou-se sacos plásticos com capacidade de 4 L. Os inseticidas foram misturados com a água dentro dos sacos plásticos em conjunto com as sementes. O conjunto foi agitado por 2 minutos até

obter mistura homogênea de todas as sementes. Após os tratamentos químicos, as sementes foram colocadas sobre papel toalha e mantidas à sombra por 30 minutos a temperatura ambiente, a fim de obter a secagem do produto na superfície das sementes.

Após a secagem, as sementes foram submetidas aos testes de umidade, germinação, obtendo-se o índice de velocidade de germinação (IVG) e primeira contagem. Além disso, realizou-se teste de frio, envelhecimento acelerado, e os testes baseados no crescimento de plântulas (comprimento de plântulas e peso da matéria seca de plântulas).

2.3 Testes de Qualidade Fisiológica de Sementes

O grau de umidade das sementes de milho foi determinado pelo método de estufa a 105 °C, sendo utilizadas 2 repetições com 50 sementes para cada tratamento, estas permaneceram por 24 horas a 105 °C, esse teste foi realizado seguindo o protocolo estabelecido pelas Regras de Análise de Sementes (Brasil, 2009).

No teste de germinação foram utilizadas quatro repetições de 50 sementes por cada tratamento, semeadas sobre duas folhas de papel toalha (germitest[®]) e cobertas com outra folha, umedecida com água destilada em quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso seco do papel. Os rolos foram mantidos em germinador a 25 °C e as avaliações realizadas diariamente até o sétimo dia após a semeadura e os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (Brasil, 2009). Conduzido juntamente com o teste de germinação determinou-se o IVG (Maguire, 1962), e primeira contagem que foi realizada quatro dias após semeadura.

Para determinar o comprimento de plântulas (cm/plântula) e a massa seca de plântulas (mg/plântula), utilizou-se 15 sementes de milho por repetição que foram colocadas sob uma linha traçada no sentido longitudinal do terço superior do papel toalha (germitest[®]). O papel foi pré-umedecido com água destilada na quantidade de 2,5 vezes o peso seco do papel. Após a preparação das amostras, elas foram colocadas em germinador regulado a 25 °C. Após 4

dias da semeadura, as plântulas normais foram medidas com uma régua milimetrada, anotando-se as medidas das radículas e da parte aérea da plântula, em seguida os resquícios de sementes foram removidos e as plântulas colocadas em estufa de circulação de ar forçada a 80 °C por 24 horas, após esse período as plântulas foram pesadas em balança de precisão.

No teste de envelhecimento acelerado, 200 sementes de cada tratamento foram colocadas em gerbox contendo 40 mL de água destilada. Essas caixas foram mantidas em incubadora (B.O.D), a 42 °C por 96 horas (Marcos-Filho, 1999). Em seguida, procedeu-se o teste de germinação com quatro repetições de 50 sementes. A avaliação ocorreu 4 dias após a semeadura. Os resultados foram expressos em porcentagem de plântulas normais (Brasil, 2009).

O teste de frio foi realizado em rolo de papel com terra. Para isso foram distribuídas quatro repetições de 50 sementes para cada tratamento, sobre duas folhas de papel Germitest[®] e cobertas com uma fina camada de terra (60 mL), proveniente de área cultivada com milho. Em seguida, o conjunto foi coberto com uma terceira folha e enrolado. As folhas de papel Germitest foram previamente umedecidas com quantidade de água equivalente a três vezes o seu peso seco. Os rolos foram colocados em sacos plásticos, vedadas e, em seguida, mantidos durante sete dias a 10 °C. Decorrido esse período, os rolos foram transferidos para germinador, a 25 °C, por cinco dias e, em seguida, efetuou-se a contagem de plântulas normais.

O teste de emergência em areia foi conduzido com quatro repetições de 50 sementes, em bandeja de poliestireno expandido (isopor) com 200 células. O substrato utilizado foi areia lavada. As avaliações foram realizadas diariamente até o sétimo dia após a semeadura (Brasil 2009). As plântulas consideradas emergidas foram aquelas que apresentaram tamanho superior a dois milímetros.

2.4 Análise dos dados

A análise estatística foi realizada por meio do software R[®] (2022). As premissas da ANOVA foram checadas pelos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett. Na análise, quando se verificou efeito significativo dos tratamentos pelo teste F, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade para o fator qualitativo e uma análise de regressão para o fator quantitativo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O tratamento de sementes com inseticidas possui muitas vantagens, como: o uso de quantidades menores do ingrediente ativo para o tratamento de sementes e, portanto, o custo de produção é menor; não é necessário equipamento adicional para a semeadura de sementes tratadas. Além disso, fornece proteção adicional contra pragas que atacam órgãos acima do solo nos estágios iniciais de desenvolvimento da planta, portanto, o tratamento foliar geralmente não é necessário no início do desenvolvimento da cultura (Vojvodić e Bažok, 2021). Segundo North et al. (2018), a maioria dos produtores optam por usar os tratamentos de sementes com neonicotinóides porque são quase universalmente pré-aplicados pelas empresas de sementes, e geralmente são eficazes e fáceis de usar e representam menos risco para os manipuladores de inseticidas em comparação com as alternativas de organofosforados e piretróides.

A porcentagem de germinação diminuiu à medida que aumentou o tempo de armazenamento de sementes de milho. O tratamento de sementes interferiu na germinação a partir dos 90 dias de armazenamento, sendo que a aplicação de carbofurano (Ca) e imidacloprid + tiodicarbe (I+T) diminuiu essa variável. A aplicação de I+T diminuiu a germinação aos 120 dias de armazenamento (Figura 1A). A aplicação de ciantraniliprole (Ci) aumentou (39,49%) o percentual de plântula normais na primeira contagem de germinação até os 90 dias de armazenamento. A aplicação desse inseticida teve a melhor performance a partir

de 60 dias de armazenamento para esta variável (Figura 1B). O tratamento de sementes com ciantranilprole aumentou as taxas de emergência de milho, indicando que o tratamento de sementes com este inseticida também pode fornecer algum controle de lagartas (Zhang et al., 2019).

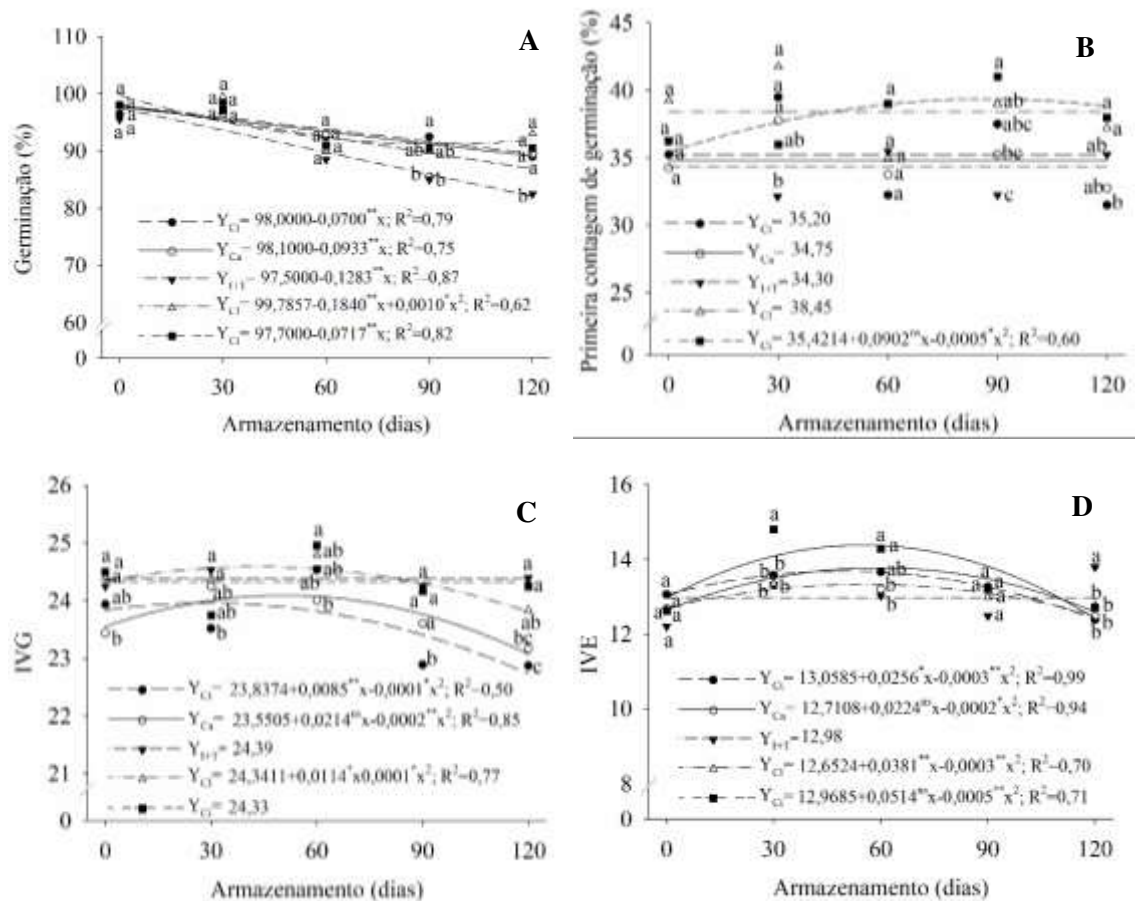


Figura 1. Porcentagem de germinação (A), primeira contagem de germinação (B), índice de velocidade de germinação (C) e índice de velocidade de emergência (D) de plantas de milho (*Zea mays*) sob aplicação em inseticidas e tempo de armazenamento.

A manutenção do potencial germinativo de sementes tratadas com ciantranilprole e clorantianilprole e armazenadas por 120 dias é interessante do ponto de vista agrônomo. Isso está relacionado ao fato de que esses inseticidas atuam no tecido muscular estimulando a perda de íons de cálcio das células do tecido muscular (Bažok, 2021), que leva à paralisia e eventual morte do inseto (Cordova et al., 2006) quando as sementes forem plantadas em campo.

O índice de velocidade de germinação foi maior (24,02, 24,12 e 24,67) com a aplicação do controle, Ca e clorantraniliprole (CI), aos 42, 54 e 57 dias, respectivamente (Figura 1C). O tratamento controle (Ct) diminuiu essa variável aos 90 e 120 dias de armazenamento, enquanto a aplicação de I+T e Ci tiveram os melhores resultados aos 120 dias. Isso pode estar relacionado ao fato de que o imidacloprido é um inseticida neonicotinóide sistêmico, que se movem pela planta quando aplicados como tratamento de sementes de milho. Isso fornece um alto grau de eficácia em algumas pragas iniciais, que se alimentam de plântulas de milho tanto abaixo quanto acima da superfície do solo (Hopwood et al. 2012).

O índice de velocidade de emergência foi maior (13,60; 13,34; 13,92 e 14,29) com a aplicação do controle, Ca, CI e Ci, aos 43, 56, 64 e 51 dias, respectivamente. A aplicação de Ci teve os melhores resultados para esta variável aos 120 dias de armazenamento (Figura 1D). Os inseticidas pertencentes ao grupo das diamidas antranílicas (como o ciantraniliprole e clorantraniliprole) já são citados no tratamento de sementes de milho, soja, arroz e beterraba para controle de pragas de parte aérea e vermes de solo (Vojvodić e Bažok, 2021). O tratamento de sementes com clorantraniliprole reduziu a infestação por *Lissorhoptus oryzophilus* Kuschel, e o arroz tratado com este inseticida resultou em menos larvas e pupas em comparação com o arroz tratado com outros inseticidas (Hummel et al., 2014).

O comprimento da parte aérea diminuiu com aumento do tempo de armazenamento de sementes em todos os tratamentos, exceto Ci. A aplicação de Ci e Ca favoreceram o aumento dessa variável aos 120 dias de armazenamento, diferindo dos demais tratamentos (Figura 2A). O comprimento da radícula e de plântula também diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento. Os inseticidas não interferiram na manutenção do crescimento destas variáveis a partir dos 90 dias de armazenamento (Figura 2 B e C).

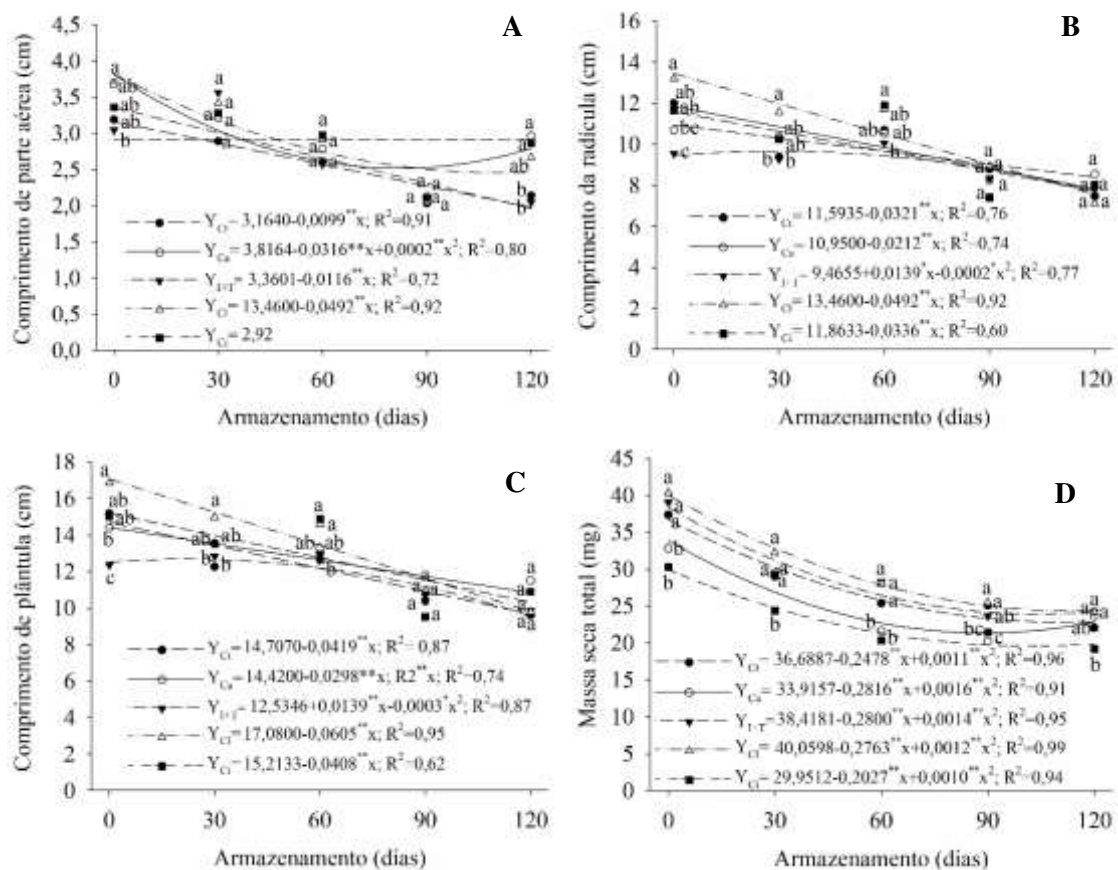


Figura 2. Comprimento de parte aérea (A), comprimento de radícula (B), comprimento de plântula (C) e massa seca total (D) de plantas de milho (*Zea mays*) sob aplicação em inseticidas e tempo de armazenamento.

A massa seca de plântulas diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento, tendo a menor massa (22,73; 21,53; 24,42; 24,16 e 19,68) com a aplicação do controle, Ca, I+T, CI e Ci, aos 112, 88, 100, 115 e 101 dias, respectivamente (Figura 2D). Tratamentos de sementes com ciantraniliprole foram desenvolvidos e usados para controlar lepidópteros e coleópteros em milho e soja (*Glycine max*) (Thrash et al., 2013; Zhang et al., 2019; Pes et al., 2020). Esse efeito nas sementes pode estar relacionado ao fato que o ciantraniliprole é altamente solúvel em água e altamente móvel dentro da planta, sendo excelentes características sistêmicas que tornam este inseticida adequado para uso como tratamento de sementes (Zhang et al., 2019).

A germinação de sementes submetidas ao envelhecimento acelerado diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento em sementes do controle e tratadas com Ca e I+T e não

foram afetadas quando tratadas com CI e Ci. Sementes tratadas com Ci tiveram melhor germinação aos 120 dias de armazenamento, quando comparado com os demais tratamentos (Figura 3A). A germinação de sementes submetidas ao teste de frio diminuiu com o aumento do tempo de armazenamento em sementes do controle e tratadas com CI e I+T e não foram afetadas quando tratadas com Ca e Ci. O tratamento de sementes com Ca teve o melhor desempenho para esta variável aos 120 dias de armazenamento. O armazenamento de sementes de milho a longo prazo não é viável, pois o teor de umidade da semente poderá aumentar (Govender et al., 2008) a um nível que a oscilação de aumento e diminuição da umidade diminui o vigor da semente e, conseqüentemente, a germinação. O declínio acentuado na porcentagem de germinação em pouco tempo desencoraja o armazenamento hermético de milho por mais de 35 dias acima de 16% de umidade (Weinberg et al., 2008).

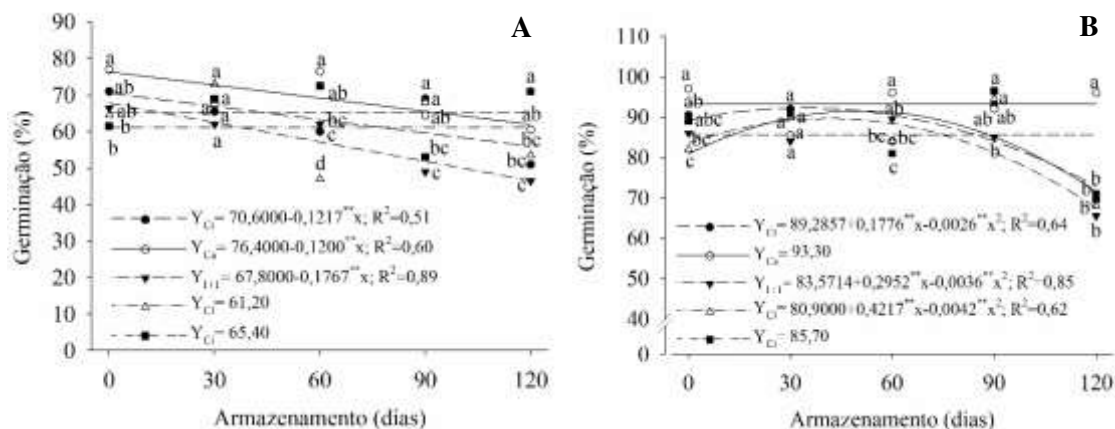


Figura 3. Germinação de sementes submetidas ao envelhecimento acelerado (A), e teste de frio (B) plantas de milho (*Zea mays*) sob aplicação em inseticidas e tempo de armazenamento.

O clorantraniliprole e o ciantraniliprole são diamidas antranílicas atualmente usadas no tratamento de sementes e na aplicação foliar no controle de pragas no Brasil (Pes et al., 2020). O clorantraniliprole foi a primeira diamida antranílica desenvolvida e comercializada, com ampla ação sobre lepidópteros e outros insetos mastigadores (Selby et al., 2017). O ciantraniliprole faz parte da segunda geração, com um espectro de ação mais amplo em lepidópteros, dípteros, coleópteros, hemípteros e tisanópteros (Pes et al., 2020).

4. CONCLUSÃO

Sementes de milho armazenadas por mais de 90 dias diminuem o vigor e, conseqüentemente, o potencial germinativo. O tratamento com clorantraniliprole e o ciantraniliprole não desfavorece a germinação e crescimento inicial de sementes de milho sob armazenamento. Esses dois inseticidas podem ser usados para o tratamento de sementes armazenadas sem causar danos ao vigor.

5. REFERÊNCIAS

Antonello, L. M., Muniz, M. F. B., Brand, S. C., Rodrigues, J., Menezes, N. L. D., & Kulczynski, S. M. (2009). Influência do tipo de embalagem na qualidade fisiológica de sementes de milho crioulo. *Revista Brasileira de Sementes*, 31, 75-86.

Barcelos, P. H. S., & Angelini, M. R. (2018). Controle de *Spodoptera frugiperda* (Smith, 1797) em diferentes tecnologias Bts (*Bacillus thuringiensis*) na cultura do milho. *Revista de Agricultura Neotropical*, 5(1), 35-40.

Bažok, R. (2021). Pregled sredstava za zaštitu bilja u Hrvatskoj za 2021. godinu-zoocidi. *Glas. Biljn. Zaštite*, 21, 13-116.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. *Regras para análise de sementes*. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 395p.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Acompanhamento da safra brasileira de grãos*, v. 7 - Safra 2021/2022 - Sétimo levantamento, Brasília, p. 1-94, 2022.

<http://www.conab.gov.br>

Contini, E., Mota, M. M., Marra, R., Borghi, E., Miranda, R. D., Silva, A. D., ... & Mendes, S. M. (2019). Milho: caracterização e desafios tecnológicos. *Brasília: Embrapa.(Desafios do Agronegócio Brasileiro, 2)*.

Cordova, D., Benner, E. A., Sacher, M. D., Rauh, J. J., Sopa, J. S., Lahm, G. P., ... & Tao, Y. (2006). Anthranilic diamides: a new class of insecticides with a novel mode of action, ryanodine receptor activation. *Pesticide Biochemistry and Physiology, 84(3)*, 196-214.

Espindola, F., Lima, P. R., Borsoi, A., Ecco, M., & Rampim, L. (2018). Qualidade fisiológica de sementes de milho tratadas com diferentes inseticidas. *Revista Engenharia na Agricultura, 26(4)*, 306-312.

Govender, V., Aveling, T. A. S., & Kritzing, Q. (2008). The effect of traditional storage methods on germination and vigour of maize (*Zea mays* L.) from northern KwaZulu-Natal and southern Mozambique. *South African Journal of Botany, 74(2)*, 190-196.

Hopwood, J., Vaughan, M., Shepherd, M., Biddinger, D., Mader, E., Black, S. H., & Mazzacano, C. (2012). Are neonicotinoids killing bees. *A review of research into the effects of neonicotinoid insecticides on bees, with recommendations for action. Xerces Society for Invertebrate Conservation, USA*.

Hummel, N. A., Mészáros, A., Ring, D. R., Beuzelin, J. M., & Stout, M. J. (2014). Evaluation of seed treatment insecticides for management of the rice water weevil, *Lissorhoptus oryzaophilus* Kuschel (Coleoptera: Curculionidae), in commercial rice fields in Louisiana. *Crop Protection, 65*, 37-42.

Maguire, J. D. (1962). Speeds of germination-aid selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science, 2*, 176-177.

MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. AGROFIT: Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários. MAPA/CGAF/DFIA/DAS, Brasília, Brazil, 2019.

Marcos-Filho, J. Teste de envelhecimento acelerado. In: Krzyzanowski, F.C.; Vieira, R.D.; França-Neto, J.B. (Ed.). *Vigor de sementes: conceitos e testes*. Londrina: ABRATES, 1999. p.3.1-3.21.

North, J. H., Gore, J., Catchot, A. L., Stewart, S. D., Lorenz, G. M., Musser, F. R., ... & Dodds, D. M. (2018). Value of neonicotinoid insecticide seed treatments in Mid-South corn (*Zea mays*) production systems. *Journal of economic entomology*, *111*(1), 187-192.

Oliveira, C., Orozco-Restrepo, S. M., Alves, A. C., Pinto, B. S., Miranda, M. S., Barbosa, M. H., & Pereira, E. J. (2022). Seed treatment for managing fall armyworm as a defoliator and cutworm on maize: plant protection, residuality, and the insect life history. *Pest Management Science*, *78*(3), 1240-1250.

Pes, M. P., Melo, A. A., Stacke, R. S., Zanella, R., Perini, C. R., Silva, F. M., & Carús Guedes, J. V. (2020). Translocation of chlorantraniliprole and cyantraniliprole applied to corn as seed treatment and foliar spraying to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *PLoS One*, *15*(4), e0229151.

R Core Team (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>.

Santos, J. R., de Freitas Maia, A. G., da Costa, A. F., de Godoy, M. S., & Silva, R. I. R. (2018). Eficiência de métodos de controle na supressão da *Spodoptera frugiperda* (Smith) na cultura do milho. *Revista Inova Ciência & Tecnologia*, 7-13.

Selby, T. P., Lahm, G. P., & Stevenson, T. M. (2017). A retrospective look at anthranilic diamide insecticides: discovery and lead optimization to chlorantraniliprole and cyantraniliprole. *Pest management science*, 73(4), 658-665.

Silva, K. M. D. J., Von Pinho, R. G., Von Pinho, É. V. D. R., De Oliveira, R. M., Dos Santos, H. O., Borges, R. B. C., ... & Pereira, D. D. S. (2019). Desempenho agrônômico da cultura do milho a partir do uso de sementes quimicamente tratadas com fungicidas e inseticidas e submetidas a diferentes condições de armazenamento. *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, 18(1), 112-122.

Suganthi, A., Krishnamoorthy, S. V., Sathiah, N., Rabindra, R. J., Muthukrishnan, N., Jeyarani, S., & Prabakar, K. (2022). Bioefficacy, persistent toxicity, and persistence of translocated residues of seed treatment insecticides in maize against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797). *Crop Protection*, 154, 105892.

Thrash, B., Adamczyk, J. J., Lorenz, G., Scott, A. W., Armstrong, J. S., Pfannenstiel, R., & Taillon, N. (2013). Laboratory evaluations of lepidopteran-active soybean seed treatments on survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Florida Entomologist*, 96(3), 724-728.

Vojvodić, M., & Bažok, R. (2021). Future of insecticide seed treatment. *Sustainability*, 13(16), 8792.

Weinberg, Z. G., Yan, Y., Chen, Y., Finkelman, S., Ashbell, G., & Navarro, S. (2008). The effect of moisture level on high-moisture maize (*Zea mays* L.) under hermetic storage conditions—in vitro studies. *Journal of Stored Products Research*, 44(2), 136-144.

Zhang, Z., Xu, C., Ding, J., Zhao, Y., Lin, J., Liu, F., & Mu, W. (2019). Cyantraniliprole seed treatment efficiency against *Agrotis ipsilon* (Lepidoptera: Noctuidae) and residue concentrations in corn plants and soil. *Pest Management Science*, 75(5), 1464-1472.

Artigo II

Metodologia para estudar o controle de *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) por meio do tratamento de sementes

RESUMO

O milho (*Zea mays*), um dos principais cereais consumidos no mundo, tem sua produção afetada por diversos estresses bióticos e abióticos. A lagarta do cartucho (*Spodoptera frugiperda*) causa severa perda de produtividade do milho. Esta praga é, na maioria das vezes, controlada através do uso de milho geneticamente modificado (Bt) e da aplicação de inseticidas via foliar. Contudo, este inseto está mais difícil de ser controlado com estas ferramentas de controle. O uso de inseticidas via semente pode ser alternativa para o controle desta praga. Sendo assim, o objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência de inseticidas via tratamento de sementes (TS) no controle de *S. frugiperda*, visando determinar uma nova metodologia para esses estudos. Dois experimentos foram realizados para avaliar os efeitos letais e subletais de inseticidas no tratamento de sementes sobre lagartas de 3º instar, sendo um realizado em casa de vegetação (lagartas infestadas diretamente no cartucho da planta) e outro em laboratório (infestadas em folhas destacadas da planta). Os experimentos foram conduzidos em esquema fatorial (3 inseticidas x 3 datas de emergência das plantas), em delineamento experimental inteiramente casualizado, com 10 e 16 repetições, respectivamente. As plantas de milho para infestação em casa de vegetação e as folhagens ofertadas em laboratório foram obtidas a partir do plantio escalonado, sendo plantas de 3, 10 e 21 dias após emergência. A mortalidade corrigida, desenvolvimento até pupa, massa de pupa e índice de desempenho foram avaliados. A aplicação de inseticidas via tratamento de sementes foi eficiente na mortalidade de *Spodoptera frugiperda* até 10 dias após emergência (DAE). Dos 3 aos 10 DAE, todos inseticidas estudados apresentaram mesma eficiência em casa de vegetação. No entanto, na folhagem ofertada em laboratório, o imidaclopride + tiodicarbe teve menor eficácia comparado ao clorantraniliprole e ciantraniliprole aos 10 DAE. A mortalidade de *S. frugiperda* obtida em casa de vegetação e laboratório foram semelhantes nos primeiros dias da emergência, indicando que para essa variável ambos os métodos servem para estudo do efeito de tratamento de semente em lagartas.

Palavras-chave: *Spodoptera frugiperda*, diamida, carbamato, neonicotinoide, tratamento de sementes

Methodology to study the control of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) through seed treatment

ABSTRACT

Corn (*Zea mays*), one of the main cereals consumed in the world, has its production affected by several biotic and abiotic stresses. The fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) causes severe yield loss in maize. This pest is, in most cases, controlled through the use of genetically modified corn (Bt) and the application of insecticides via foliar. However, this insect is more difficult to control with these control tools. The use of insecticides via seed can be an alternative for the control of this pest. Therefore, the objective of this work was to evaluate the efficiency of insecticides via seed treatment (TS) in the control of *S. frugiperda*, aiming to determine a new methodology for these studies. Two experiments were carried out to evaluate the lethal and sublethal effects of insecticides in the seeds treatment on 3rd instar fall armyworm. One experiment was carried out in a greenhouse (fall armyworms infested directly in the plant cartridge) and another in the laboratory (infested in detached leaves of the plant). The experiments were carried out in a factorial scheme (3 insecticides x 3 plant emergence dates), in a completely randomized design, with 10 and 16 replications, respectively. The corn plants for infestation in the greenhouse and the foliage offered in the laboratory were obtained from the staggered planting, being plants of 3, 10 and 21 days after emergence. Corrected mortality, development to pupa, pupal mass and performance index were evaluated. The application of insecticides via seed treatment was efficient in the mortality of *Spodoptera frugiperda* up to 10 days after emergence (DAE). From 3 to 10 DAE, all insecticides studied showed the same efficiency in the greenhouse. However, in foliage offered in the laboratory, imidacloprid + thiodicarb had lower efficacy compared to chlorantraniliprole and cyantraniliprole at 10 DAE. The mortality of *S. frugiperda* obtained in the greenhouse and laboratory were similar in the first days of emergence, indicating that for this variable both methods are useful for studying the effect of seed treatment on fall armyworms.

Keywords: *Spodoptera frugiperda*, diamide, carbamate, neonicotinoid, seed treatment

1. INTRODUÇÃO

O milho (*Zea mays* L.) é um dos grãos mais importantes do mundo (Olawuyi et al., 2014), sendo a segunda cultura mais cultivada no Brasil, com uma produção anual nos últimos três anos acima de 80 milhões de toneladas (Lira et al., 2020).

Em todo o mundo, cerca de 18–26% de redução na produção agrícola é devido a insetos-praga, que ocorrem principalmente no campo antes da colheita (Mantzoukas e Eliopoulos, 2020). As perdas na produção brasileira de milho podem chegar a 7% devido a danos causados exclusivamente por insetos (Oliveira et al., 2014). A cultura do milho tem a sua produção afetada por vários fatores bióticos, como a lagarta do cartucho, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) (Lepidoptera: Noctuidae), que é considerada uma praga primária de milho na América (Silva et al., 2015). Esta praga está se disseminando de forma rápida e generalizada pelo mundo, com relatos de ocorrência inclusive na África e na Ásia (Sidana et al., 2018; Nboyine et al., 2020).

A mariposa de *S. frugiperda* é um inseto que se dispersa rapidamente e a lagarta se alimenta de várias plantas (Westbrook et al., 2016). Este inseto pode se alimentar de todos os tecidos da planta de milho. No entanto, é reconhecida facilmente pela injúria causada nas folhas mais novas da cultura, conhecida como cartucho do milho (Hardke et al., 2011; Maruthadurai e Ramesh, 2020).

A lagarta do cartucho é nativa da América tropical e subtropical (Groote et al., 2020). Sua gama de hospedeiros inclui quase 100 espécies de plantas registradas em 27 famílias, sendo uma praga migratória esporádica e de longa distância, com as mariposas adultas sendo capazes de voar mais de 100 km em uma única noite (Midega et al., 2018). As lagartas de instares iniciais se alimentam principalmente do tecido foliar epidérmico e também fazem orifícios nas folhas, que é o sintoma de dano típico deste inseto. Em plantas mais velhas, as

lagartas maiores podem se alimentar da espiga ou grãos, reduzindo o rendimento e a qualidade da cultura (Sisay et al., 2019).

Nos EUA, Brasil e Argentina, a lagarta do cartucho é rotineiramente controlada através do uso de milho geneticamente modificado, que incorporam genes que expressam para a produção de toxinas letais para este inseto (Kruska, 2019). Devido ao controle dependente de inseticidas, esta praga desenvolveu resistência às principais classes de inseticidas químicos em vários locais (Belay et al., 2012). Com isso, o tratamento de sementes com inseticida é recomendado para produtores que adotam boas práticas agrícolas e como parte do manejo integrado de pragas, uma vez que garante o uso racional dos produtos, redução do impacto ambiental e manutenção da população de inimigos naturais em níveis adequados (Triboni et al., 2019).

Clorraniliprole e ciantraniliprole são diamidas antranílicas atualmente recomendadas para uso como tratamento de sementes e aplicação foliar no Brasil (Pes et al., 2020). O tratamento de sementes pode ser utilizado não apenas para controlar os ínstaes mais avançados das lagartas de *S. frugiperda*, mas também como uma técnica que tem impacto relativamente baixo sobre os inimigos naturais, proporcionando maior equilíbrio ao agroecossistema (Triboni et al., 2019).

O objetivo do trabalho foi avaliar a eficiência de inseticidas diamidas, carbamatos e neonicotinoide via tratamento de sementes no controle de *S. frugiperda*, visando determinar uma nova metodologia para esse tipo de estudo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Condições experimentais e tratamento de sementes

Os experimentos para avaliar a eficiência de inseticidas de tratamento de sementes no controle de *Spodoptera frugiperda* foram conduzidos simultaneamente em casa de vegetação climatizada (Temperatura de 30 ± 5 °C, UR de $70 \pm 15\%$ e fotofase de 12 horas) na estação

experimental professor Diogo Alves de Melo e no Laboratório de Interação Inseto-Planta da Universidade Federal de Viçosa (UFV), município de Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

As sementes de milho foram tratadas 24 horas antes da semeadura com os inseticidas imidaclopride 50 g L⁻¹ + tiodicarbe 450 g L⁻¹ SC (Cropstar, suspensão concentrada; Bayer CropsScience, São Paulo, SP, Brasil), clorantniliprole 625 g L⁻¹ FS (Dermacor, suspensão concentrada para tratamento de sementes; Corteva Agrisciense, Barueri, SP, Brasil) e ciantraniliprole 600 g L⁻¹ FS (Fortenza, suspensão concentrada para tratamento de sementes; Syngenta Proteção de Cultivos, São Paulo, SP, Brasil) nas dosagens máximas recomendadas para o controle de *S. frugiperda* na cultura do milho, além do tratamento controle sem o tratamento de sementes. As sementes foram secas à sombra e semeadas em vasos de 2 dm³ a ±5 cm de profundidade.

2.2 Preparo do solo, semeadura e manejo das plantas de milho

Os vasos foram preenchidos com solo de textura argilosa + substrato orgânico (MECPLANT, fabricado por Mec Prec - Indústria e Comércio Ltda., Telêmaco Borba, PR, Brasil) na proporção de 2:1 (v/v). O substrato foi submetido a análise física (44% de argila, 16% de Silte e 40% de areia) e química.

A adubação de plantio, foi realizada com 400 kg ha⁻¹ de N:P:K (4:14:8) (Fertipar Sudeste Adubos e Corretivos Agrícolas Ltda., Varginha, MG, Brasil). Conforme análise Química do Solo. Foi semeada uma semente de milho BRS 3046 convencional (Embrapa Milho & Sorgo, Sete Lagoas, MG) por vaso e irrigado diariamente, mantendo-se o solo sempre com o teor de água adequado para o desenvolvimento das plantas, e que não provocasse perdas dos inseticidas por lixiviação.

2.3 Criação de *S. frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae)

Para os ensaios experimentais, foi utilizada lagartas provenientes de uma população mantida no Laboratório Interação Inseto-Planta da Universidade Federal de Viçosa. As

mariposas foram mantidas em gaiolas de PVC 40 cm altura × 30 cm de diâmetro sendo a parte interna coberta com papel sulfite para a retirada de ovos, a parte inferior foi coberta com jornal e papelão e a parte superior fechada com jornal para permitir a retirada dos ovos.

O alimento dos adultos foi fornecido em placa de Petri contendo algodão umedecido com solução de açúcar (10%) e ácido ascórbico (5%). As posturas foram retiradas a cada dois dias e armazenadas em sacos plásticos. Após a eclosão, as neonatas foram transferidas para potes plásticos (500 mL) contendo dieta artificial (Kasten Jr. et al., 1978) e individualizadas no 3º instar larval em bandejas de PVC de 16 células (Advento do Brasil, Diadema, SP) para evitar o canibalismo, permanecendo até o estágio de pupa. Todos os insetos foram mantidos em sala de criação em condições controladas de temperatura de $27\pm 2^{\circ}\text{C}$, umidade relativa de $70\pm 15\%$ e fotoperíodo de 12 horas.

2.4 Tratamentos e delineamento experimental

Dois experimentos foram realizados para avaliar os efeitos letais e subletais de inseticidas de tratamento de semente sobre lagartas de 3º instar. Um experimento foi realizado em casa de vegetação (lagartas infestadas diretamente no cartucho da planta) e outro em laboratório (infestadas em folhas destacadas da planta). Os experimentos foram conduzidos em esquema fatorial 3 inseticidas × 3 datas de emergência em delineamento experimental inteiramente casualizado com 10 e 16 repetições, respectivamente.

As plantas de milho para infestação em casa de vegetação e as folhagens ofertadas em laboratório foram obtidas a partir do plantio escalonado, obtendo três idades de plantas 3 (V0), 10 (V3) e 21 (V6) dias após emergência. A infestação nas plantas mantidas em casa de vegetação ocorreu de uma única vez quando as idades das plantas foram obtidas. Folhas de plantas excedentes que havia recebido o tratamento de sementes foram cortadas e ofertadas em bandejas para larvas de 3º instar (ca. 1 cm de comprimento) usando um pincel de ponta fina. Logo após a infestação, as bandejas foram tampadas e as plantas de casa de vegetação

confinada com um saco plástico transparente em forma de uma campânula para evitar escape dos insetos. Para impedir acúmulo de água no interior da campânula, a irrigação foi cessada 24 h antes da infestação. A mortalidade das lagartas foi contabilizada 96 h após a infestação e as sobreviventes das infestações nas plantas e folhas com 21 dias após emergência, foram mantidas em dieta artificial para determinação dos efeitos subletais como massa pupal (mg), tempo para empupamento (dias) e índice de desempenho.

2.5 Análise dos dados

Um teste de Tukey a 5% de probabilidade foi utilizado quando verificado efeito significativo dos tratamentos. A análise estatística foi realizada por meio do software R (R Core Team, 2021).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância das variáveis analisadas é mostrada nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Análise de variância da mortalidade corrigida nos experimentos com lagartas de *Spodoptera frugiperda* infestadas em laboratório e em casa de vegetação.

Fontes de variação	GL	F	P
Ambiente	1	16,39	<0,01
Inseticida	2	29,9	<0,01
Amb.× Inset.	1	2,29	0,1317
Tempo	2	598,66	<0,01
Amb. × Tempo	2	2,07	0,1288
Tem. × Inset.	6	3,58	0,0021
Amb.× Inset. × Tempo	2	3,91	0,0215
Resíduo	216	-	-

Tabela 2. Análise de variância para as variáveis desenvolvimento até pupa (dias), peso de pupa (mg) e índice de desempenho de lagartas de 3º instar de *Spodoptera frugiperda* sobreviventes das infestações em laboratório e casa de vegetação aos 21 dias após emergência.

Fontes de variação	Massa de Pupa (mg)			Desenvolvimento até pupa (dias)			Índice de desempenho		
	GL	F	P	GL	F	P	GL	F	P
	Inseticida	3	2,6	>0,05	3	19,5	<0,01	3	34,9
Ambiente	1	42,6	<0,01	1	95,2	<0,01	1	15,1	<0,01
Inset. × Amb.	3	1,5	0,22	3	19,1	<0,01	3	44,8	<0,01
Resíduo	203	-	-	203	-	-	203	-	-

A mortalidade corrigida em planta intacta (casa de vegetação) não teve diferença entre os tratamentos com inseticidas, mas teve diferença entre os dias após a emergência de plantas de milho (Figura 1A). Este comportamento pode estar relacionado à ação das diamidas que cessam a alimentação e causam letargia, paralisia e finalmente a morte dos insetos (Hannig, 2009). A aplicação de Imidacloprido + Tiodicarbe diminuiu e Clorantraniliprole e Ciantraniliprole aumentou a mortalidade de lagartas em plantas com 10 e 21 dias após a emergência em condições de laboratório. Este efeito pode estar relacionado à alta mobilidade do Ciantraniliprole na planta (Selby et al., 2017). A aplicação de clorantraniliprole e ciantraniliprole via sementes causou mortalidade acima de 40% em *S. frugiperda* em plantas de milho (Pes et al., 2020), resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho. As plantas de milho aos 21 dias após a emergência tiveram menor mortalidade de lagartas tanto em planta intacta quanto em folhagem colhida e isso pode estar relacionado ao aparecimento de

novas folhas e o avanço do ciclo levando à redução da concentração de princípios ativos nas folhas (Pes et al., 2020).

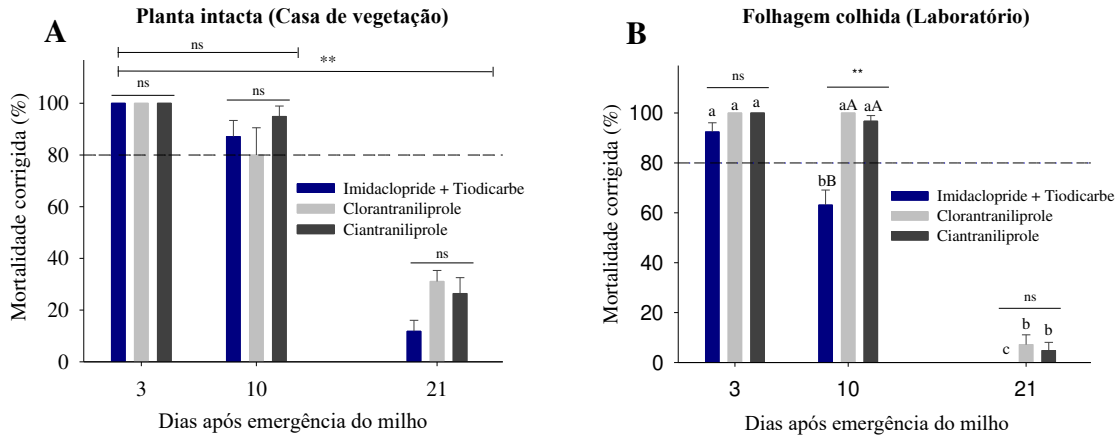


Figura 1. Mortalidade corrigida de planta intacta (A) e de folha colhida (B) de *Spodoptera frugiperda* em plantas de milho. Médias \pm erros padrões com mesma letra não diferem entre si ($p \leq 0,05$) pela diferença mínima de Fisher seguida de análise de variância.

Lagartas de *S. frugiperda* em experimento de casa de vegetação tiveram maiores tempo de desenvolvimento até pupa e massa de pupa do que lagartas em experimento de laboratório. O maior tempo de desenvolvimento até pupa em casa de vegetação foi observado em plantas tratadas com ciantraniliprole e a menor foi observada em plantas sem aplicação de inseticida (controle). Esse comportamento está relacionado à ação deste inseticida no retardamento do desenvolvimento deste inseto. A massa de pupa foi similar entre os tratamentos tanto em casa de vegetação quanto em laboratório (Figura 2). A aplicação de ciantraniliprole é amplamente utilizado contra outras pragas lepidópteras, tanto como aplicação foliar quanto como tratamento de sementes (Thrash et al., 2013; Kumar et al., 2017; Pes et al., 2020; Wilson et al., 2021).

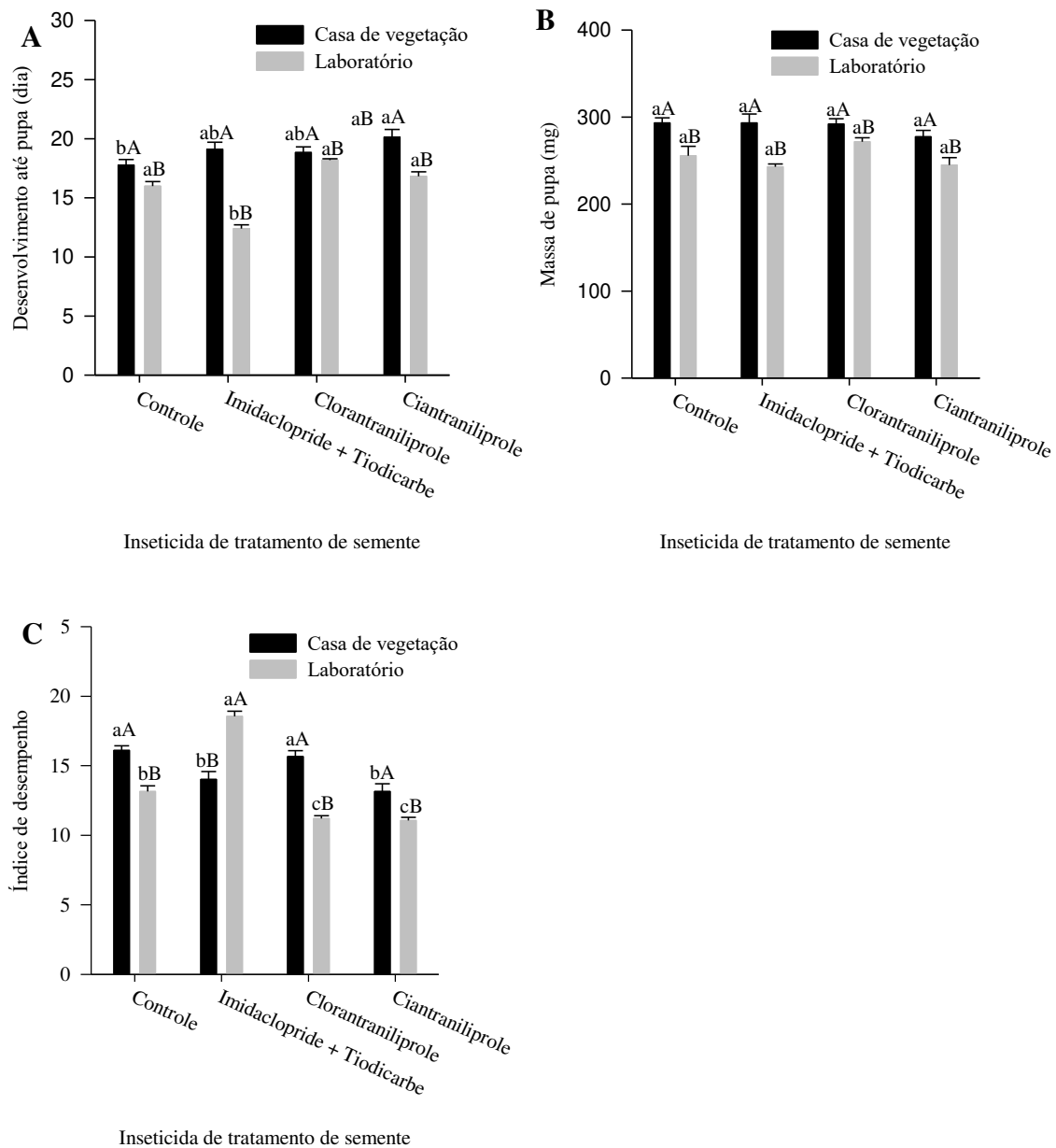


Figura 2. Desenvolvimento até pupa (A), massa de pupa (B) e índice de desempenho (C) de *Spodoptera frugiperda* em plantas de milho. Médias \pm erros padrões com mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

O índice de desempenho foi maior em condição de laboratório e com aplicação de Imidaclopride + Tiodicarbe e os menores índices foram observados em condição de laboratório e com aplicação de clorantraniliprole e com aplicação de ciantraniliprole (Figura 2 C). Em casa de vegetação, os maiores índices de desempenho foram observados no tratamento controle e aplicação de Clorantraniliprole. Estudos realizados com soja (*Glycine*

max) em casa de vegetação e em campo foi observada maior eficácia para o clorantraniliprole em comparação com o ciantraniliprole e isso pode ser devido às diferenças na solubilidade destes inseticidas (Thrash et al., 2013). A aplicação de clorantraniliprole teve efeitos tóxicos com *S. frugiperda* em outros estudos (Su et al., 2012; Karuppaiah e Srivastava, 2013; Tidke et al., 2021).

4. CONCLUSÕES

A aplicação de clorantraniliprole, ciantraniliprole e imidaclopride + tiodicarbe tem a mesma eficiência de mortalidade aos 3, 10 e 21 DAE, quando a infestação da lagarta ocorreu na planta intacta. Contudo, quando o tecido foliar é ofertado as lagartas em laboratório, clorantraniliprole e ciantraniliprole são mais eficientes que imidacloprido + tiodicarbe aos 10 DAE.

A resposta de mortalidade obtida em casa de vegetação e laboratório são semelhantes e indica que para essa variável ambos os métodos servem para estudo do efeito de tratamento de semente em lagartas.

Agradecimentos

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código Financeiro 001 pelo apoio financeiro concedido.

5. REFERÊNCIAS

Belay, D. K., Huckaba, R. M., & Foster, J. E. (2012). Susceptibility of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae), at Santa Isabel, Puerto Rico, to different insecticides. *Florida Entomologist*, 95(2), 476-478.

Groote, H., Kimenju, S. C., Munyua, B., Palmas, S., Kassie, M., & Bruce, A. (2020). Spread and impact of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* JE Smith) in maize production areas of Kenya. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 292, 106804.

- Hannig, G. T., Zeigler, M., & Marçon, P. G. (2009). Feeding cessation effects of chlorantraniliprole, a new anthranilic diamide insecticide, in comparison with several insecticides in distinct chemical classes and mode-of-action groups. *Pest Management Science*, 65(9), 969-974.
- Hruska, A. J. (2019). Fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) management by smallholders. *CAB Rev*, 14(043), 1-11.
- Karuppaiah, V., & Srivastava, C. (2013). Relative toxicity of newer insecticide molecules against *Spodoptera litura*. *Annals of Plant Protection Sciences*, 21(2), 305-308.
- Kasten Jr, P., A. Precetti, & J. Parra. (1978). Dados biológicos comparativos de *Spodoptera frugiperda* (JE Smith, 1797) em duas dietas artificiais e substrato natural. *Brazilian Journal of Agriculture*, 53(1-2), 68-78.
- Kumar, C. M., Jacob, T. K., & Devasahayam, S. (2017). Evaluation of insecticides and a natural product for their efficacy against shoot borer (*Conogethes punctiferalis* Guen.) (Lepidoptera: Crambidae) infesting ginger (*Zingiber officinale* Rosc.). *Journal of Spices and Aromatic Crops*, 26, 91-94.
- Lira, A. C., Mascarin, G. M., & Delalibera Júnior, Í. (2020). Microsclerotia production of *Metarhizium* spp. for dual role as plant biostimulant and control of *Spodoptera frugiperda* through corn seed coating. *Fungal Biology*, 124(8), 689-699.
- Mantzoukas, S., & Eliopoulos, P. A. (2020). Endophytic entomopathogenic fungi: A valuable biological control tool against plant pests. *Applied Sciences*, 10(1), 360.
- Maruthadurai, R.; Ramesh, R. Occurrence, damage pattern and biology of fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) on fodder crops and green amaranth in Goa, India. *Phytoparasitica*, v. 48, n.10, p. 15-23, 2020.

- Midega, C. A., Pittchar, J. O., Pickett, J. A., Hailu, G. W., & Khan, Z. R. (2018). A climate-adapted push-pull system effectively controls fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith), in maize in East Africa. *Crop Protection*, *105*, 10-15.
- Nboyine, J. A., Kusi, F., Abudulai, M., Badii, B. K., Zakaria, M., Adu, G. B., Haruna, A., Seidu, A., Osei, V., Alhassan, S., Yahaya A. (2020). A new pest, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith), in tropical Africa: Its seasonal dynamics and damage in maize fields in northern Ghana. *Crop Protection*. *127*, 1-7.
- Olawuyi, O. J., Odebode, A. C., Babalola, B. J., Afolayan, E. T., & Onu, C. P. (2014). Potentials of arbuscular mycorrhiza fungus in tolerating drought in Maize (*Zea mays* L.). *American Journal of Plant Sciences*, *5*, 779-786.
- Oliveira, C. M., Auad, A. M., Mendes, S. M., & Frizzas, M. R. (2014). Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. *Crop Protection*, *56*, 50-54.
- Pes, M. P., Melo, A. A., Stacke, R. S., Zanella, R., Perini, C. R., Silva, F. M., & Carús Guedes, J. V. (2020). Translocation of chlorantraniliprole and cyantraniliprole applied to corn as seed treatment and foliar spraying to control *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *PloS One*, *15*(4), e0229151.
- R Core Team. (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Selby, T. P., Lahm, G. P., & Stevenson, T. M. (2017). A retrospective look at anthranilic diamide insecticides: discovery and lead optimization to chlorantraniliprole and cyantraniliprole. *Pest Management Science*, *73*(4), 658-665.
- Sidana, J., Singh, B., Sharma, Om. P. (2018). Occurrence of the new invasive pest, fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith) (Lepidoptera: Noctuidae), in the maize fields of Karnataka, India. *Current Science*, *115*, 621 – 623.

Silva, M. S., Broglio, S. M. F., Trindade, R. C. P., Ferrreira, E. S., Gomes, I. B., & Micheletti, L. B. (2015). Toxicidade e aplicação de nim em lagarta do cartucho. *Comunicata Scientiae*, 6(3), 359-364.

Sisay, B., Tefera, T., Wakgari, M., Ayalew, G., & Mendesil, E. (2019). The efficacy of selected synthetic insecticides and botanicals against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*, in maize. *Insects*, 10(2), 45.

Su, J., Lai, T., & Li, J. (2012). Susceptibility of field populations of *Spodoptera litura* (Fabricius) (Lepidoptera: Noctuidae) in China to chlorantraniliprole and the activities of detoxification enzymes. *Crop Protection*, 42, 217-222.

Thrash, B., Adamczyk, J. J., Lorenz, G., Scott, A. W., Armstrong, J. S., Pfannenstiel, R., & Taillon, N. (2013). Laboratory evaluations of lepidopteran-active soybean seed treatments on survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Florida Entomologist*, 96(3), 724-728.

Thrash, B., Adamczyk, J. J., Lorenz, G., Scott, A. W., Armstrong, J. S., Pfannenstiel, R., & Taillon, N. (2013). Laboratory evaluations of lepidopteran-active soybean seed treatments on survivorship of fall armyworm (Lepidoptera: Noctuidae) larvae. *Florida Entomologist*, 96(3), 724-728.

Tidke, V. N., Kulkarni, U. S., & More, S. R. (2021). Screening of insecticides against fall armyworm, *Spodoptera frugiperda* (JE Smith). *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 9(1), 278-284.

Triboni, Y. B., Del Bem, L., Raetano, C. G., & Negrisoni, M. M. (2019). Effect of seed treatment with insecticides on the control of *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera: Noctuidae) in soybean. *Arquivos do Instituto Biológico*, 86, e0332018.

Westbrook, J. K.; Nagoshi, R. N.; Meagher, R. L.; Fleischer, S. J.; Jairam, S. (2016) Modeling seasonal migration of fall armyworm moths. *International Journal of Biometeorology*, 60, 255-267.

Wilson, B. E., Villegas, J. M., Way, M. O., Pearson, R. A., & Stout, M. J. (2021). Cyantraniliprole: a new insecticidal seed treatment for US rice. *Crop Protection*, 140, 105410

Considerações finais

O armazenamento das sementes de milho por mais de 90 dias diminui o potencial germinativo. O tratamento com clorantraniliprole e o ciantraniliprole favorece a germinação e crescimento inicial de sementes de milho sob armazenamento.

A aplicação de inseticidas via sementes é eficiente na mortalidade de lagartas de *Spodoptera frugiperda* até dez dias após emergência do milho, causando mortalidade acima de 80%. A resposta de mortalidade obtida em casa de vegetação e laboratório foram semelhantes e indica que para essa variável ambos os métodos servem para estudo do efeito de tratamento de semente em lagartas.