

EXISTEM CUSTOS ADAPTATIVOS EM *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA:
PLUTELLIDAE) RESISTENTE AO LUFENUROM?

por

NATALIA CAROLINA BERMÚDEZ BUITRAGO

(Sob Orientação do Professor Herbert Álvaro Abreu de Siqueira – UFRPE)

RESUMO

Plutella xylostella é a praga mais importante das brássicas no mundo, a rápida evolução da resistência a diferentes ingredientes ativos é um dos principais problemas no seu controle. No Brasil o primeiro relato de resistência desta praga para lufenurona foi em 2011. O objetivo foi avaliar a existência de custos adaptativos (*fitness*) associados à resistência de *P. xylostella* ao lufenurom, para tal, foram realizados bioensaios de suscetibilidade para a população suscetível (REC-S) e resistente (BZR-R), como para suas progênes F1 e F1' e a população resistente após quatro gerações sem pressão de seleção (BZNS), foram avaliados e comparados parâmetros biológicos entre REC-S e BZR-R mediante tabelas de vida e fertilidade, além do efeito da alimentação com o inseticida no adulto. A CL_{50} de BZNS reduziu 1,8 vezes após quatro gerações. O período larval foi alongado e o peso pupal reduzido para F1 e F1' principalmente. A sobrevivência dos machos de BZNS foi reduzida. O tempo médio de geração (T), taxa intrínseca de crescimento (r_m) e tempo de duplicação da população (TD) foram diferentes para REC-S, F1 e F1'. Foram observados valores de *fitness* para F1 de 0,52 e F1' de 0,64. Após adultos serem expostos à dose de campo, a longevidade, período de oviposição, fecundidade e fertilidade das fêmeas de BEZ-R mostraram-se superiores àqueles de REC-S, e a sobrevivência de BEZ-R foi maior do que REC-S. Os resultados sugerem que não existe *fitness* associado à resistência de *P.*

xylostella ao lufenurom; a resistência ao lufenurom é estável e provavelmente recessiva, heterozigotos possuem *fitness* menor do que seus parentais e que populações resistentes ao lufenurom tem vantagem frente a populações suscetíveis na exposição à dose de campo. Contudo, estudos sobre perfil de resistência cruzada, estabilidade e modelo da herança dessa resistência ainda precisam ser esclarecidos para maior sucesso no manejo dessa praga.

PALAVRAS-CHAVE: Traça das brássicas, Brassicaceae, tabela de vida, IGRs, benzoilureias.

IS THERE FITNESS IN *PLUTELLA XYLOSTELLA* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)
RESISTANT TO LUFENURON?

por

NATALIA CAROLINA BERMÚDEZ BUITRAGO

(Under the Direction of Professor Herbert Álvaro Abreu de Siqueira - UFRPE)

ABSTRACT

Plutella xylostella is the most important brassica pest in the world, the rapid evolution of resistance to different active ingredients is a major problem in its control. In Brazil the first report of resistance of this pest to lufenuron was in 2011. The objective was to evaluate the existence of adaptive costs (fitness) associated with resistance of *P. xylostella* to lufenuron. To this end, susceptibility bioassays were performed for the susceptible population REC-S and resistant BZR-R as for their F1 and F1 'progenies and the resistant population after four generations without BZNS selection pressure, biological parameters between REC-S and BZR-R were evaluated and compared with life and fertility tables beyond effect of insecticide feeding on adults. The BZNS LC50 reduced 1.8-fold after four generations. The larval period was lengthened, and the pupal weight reduced to F1 and F1 'mainly. BZNS male survival was reduced. The mean generation time (T), intrinsic growth rate (r_m) and population doubling time (TD) were different for REC-S, F1 and F1 '. F1 fitness values of 0.52 and F1 'of 0.64 were observed. After adults were exposed to field dose, longevity, oviposition period, fecundity and fertility of BEZ-R females, they were higher than those of REC-S, and survival of BEZ-R was higher than REC-S. The results suggest that there is no fitness associated with *P. xylostella* resistance to lufenuron; Lufenuron resistance is stable and probably recessive, heterozygotes have lower fitness than their

parents, and lufenuron resistant populations have an advantage over susceptible populations at field dose exposure. However, studies on cross resistance profile, stability and inheritance model of this resistance still need to be clarified for greater success in the management of this pest.

KEY WORDS: Diamondback moth, Brassicaceae, life table, IGRs, benzoylureas.

EXISTEM CUSTOS ADAPTATIVOS EM *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA:
PLUTELLIDAE) RESISTENTE AO LUFENUROM?

por

NATALIA CAROLINA BERMÚDEZ BUITRAGO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola, da
Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de
Mestre em Entomologia Agrícola.

RECIFE - PE

Fevereiro – 2019

EXISTEM CUSTOS ADAPTATIVOS EM *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA:
PLUTELLIDAE) RESISTENTE AO LUFENUROM?

por

NATALIA CAROLINA BERMÚDEZ BUITRAGO

Comitê de Orientação:

Herbert Álvaro Abreu de Siqueira – UFRPE

Lílian Maria da Soledade Ribeiro – UFRPE

Liliane Marques da Silva – UFRPE

EXISTEM CUSTOS ADAPTATIVOS EM *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA:
PLUTELLIDAE) RESISTENTE AO LUFENUROM?

por

NATALIA CAROLINA BERMÚDEZ BUITRAGO

Orientador: _____
Herbert Álvaro Abreu de Siqueira – UFRPE

Examinadores: _____
Lílian Maria da Soledade Ribeiro – UFRPE

Paulo Geovani Silva Martins – UFRPE

DEDICATÓRIA

A Deus que é quem me permitiu estar aqui.

Ao meu amado filho Esteban Torres Bermúdez que tem a paciência de esperar e me amar quando estou longe dele.

Ao meu pai que foi quem fez de mim a pessoa que sou hoje.

A minha família por seu amor e compreensão.

Ao meu namorado por seu apoio neste caminho.

AGRADECIMENTOS

A Deus, que mostra em cada momento seu amor por mim, que me conforta e alivia nos momentos que acho que não posso dar mais de mim.

Ao programa de Pós-Graduação em Entomologia Agrícola, da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pela oportunidade de obtenção deste título.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE pela concessão da bolsa.

Ao professor Herbert Álvaro Abreu de Siqueira pelos conhecimentos transmitidos, pela orientação e confiança depositada para realização deste trabalho.

Ao professor Jorge Braz Torres pelos esclarecimentos das minhas dúvidas, quando foi necessário.

As minhas coorientadoras Lilian Ribeiro e Liliane Marques pelos auxílios durante todo o período do Mestrado.

Ao Professor Arnubio Valencia pela confiança e ser a ponte para chegar até esta universidade.

Ao Professor Bernardo Villegas Estrada pelas palavras sempre sábias, pelas puxadas de orelha, pela grande amizade que foi construída e por acreditar em mim. Grata a vida toda.

Ao meu amigo Paolo Freitas pela grande amizade além do acompanhamento, fico muito grata pela imensa ajuda e pelos conselhos que foram dados.

Ao meu lindo Paulo Martins, pela amizade e o acompanhamento, pelos momentos de loucuras vividos só para amenizar todo aquele peso que levávamos nas costas.

Aos demais colegas do LIIT antigos e novos, Bete, Kayo, Cássio, Maria, Teófilo, Daniel e Marco.

A minha querida amiga Jane Araújo por me acolher e ensinar as coisas que precisava para sobreviver em Recife.

Ao Santiago Arias, que esteve do meu lado em todo momento e foi meu apoio até o fim desta corrida, grata amor.

Finalmente, agradeço a minha família que amo como a minha vida por seu apoio e incentivos diários, meu filho Esteban que me deu as forças para iniciar e terminar todo este processo, por seu amor incondicional, compreensão e carinho ainda na ausência de sua mãe.

SUMÁRIO

| | Página |
|--|--------|
| AGRADECIMENTOS | ix |
| CAPÍTULOS | |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| LITERATURA CITADA..... | 6 |
| 2 EXISTEM CUSTOS ADAPTATIVOS EM <i>Plutella xylostella</i> (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) RESISTENTE AO LUFENUROM? | 10 |
| RESUMO | 11 |
| ABSTRACT | 12 |
| INTRODUÇÃO | 14 |
| MATERIAL E MÉTODOS | 15 |
| RESULTADOS | 19 |
| DISCUSSÃO | 24 |
| AGRADECIMENTOS | 27 |
| LITERATURA CITADA | 27 |
| 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS | 38 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Conhecida comumente como crucíferas ou brássicas, a família Brassicaceae é constituída por 375 gêneros e aproximadamente 3700 espécies (Al-Shehbaz *et al.* 2006, Le Coz & Ducombs 2006). Embora apresente baixo custo de produção, seu cultivo apresenta grande importância econômica mundial, produzindo 105 milhões de toneladas em aproximadamente 3,5 milhões de hectares cultivados (FAO 2016), porém dados mais recentes ainda não são conhecidos devido à falta de um censo agropecuário preciso e periódico.

No Brasil são produzidas 1.350,817 toneladas de brássicas cada ano sendo o Sudeste o principal produtor com 813.785 t/ano, o Sul o segundo maior produtor com 424.516 t/ano, já a região do Nordeste encontra-se em quarto lugar produzindo 43.674 t/ano das quais, Pernambuco produz o 18,39% do total do Nordeste (IBGE 2017). A região do Agreste Pernambucano produz a maior parte desses vegetais e comumente são cultivados em pequenas escalas, representando uma fonte de renda significativa para agricultura familiar (Batista 2011).

A incidência de artrópodes pragas é uma realidade no que concerne qualquer atividade agrícola, principalmente monoculturas, e, no cultivo de brássicas, esse cenário não é diferente. Neste contexto, destaca-se a ocorrência de espécies como *Ascia monuste orseis* (Latreille 1819) (Lepidoptera: Pieridae), *Trichoplusia ni* (Hubner 1802) (Lepidoptera: Noctuidae), *Spodoptera* sp. (Hubner 1821) (Lepidoptera: Noctuidae), *Hellula phidilealis* (Walker 1859) (Lepidoptera: Pyralidae), *Liriomyza* spp. (Burgess 1880) (Diptera: Agromyzidae), *Bemisia tabaci* (Genn 1889) (Hemiptera: Aleyrodidae) e *Myzus persicae* (Sulzer 1776) (Hemiptera: Aphididae) (Gallo *et al.* 2002) entre outros. No entanto, a praga mais severa em cultivos de brássicas é a *Plutella*

xylostella (Linnaeus 1758) (Lepidoptera: Plutellidae), conhecida vulgarmente como traça das brássicas (Talekar & Shelton 1993).

Originária do mediterrâneo, *P. xylostella* é considerada o principal fator redutor na produção das brássicas em todo o mundo (Dickson *et al.* 1990, Talekar & Shelton 1993, Ulmer *et al.* 2002, Carvalho *et al.* 2010). No ano de 1993, o custo anual para o controle da traça das brássicas era estimado em 1 bilhão de dólares (Talekar & Shelton 1993), no entanto, em 2012 esse custo aumentou significativamente para 4 a 5 bilhões de dólares por ano (Zalucki *et al.* 2012).

No Brasil, a presença de *P. xylostella* foi relatada pela primeira vez em cultivos de repolho na região da Bahia no ano de 1928 (Bondar 1928), esta praga consegue reduzir a qualidade do produto final entre o 58-100% (Castelo Branco & Guimarães 1990, Barros *et al.* 1993, Charleston & Kfir 2000). Além disso, seu controle pode atingir até 30% dos custos totais de produção o que pode inviabilizar completamente a continuidade do seu cultivo (Castelo Branco *et al.* 2001).

O ciclo de vida de *P. xylostella* pode variar dependendo da temperatura na qual esteja se desenvolvendo. Em temperatura de 25 °C, a incubação dos ovos é de aproximadamente 2,8 dias (Steinbach *et al.* 2017). Após a eclosão, larvas de primeiro instar começam minar as folhas, alimentando-se inicialmente das células do parênquima contidas no mesófilo foliar (Talekar & Shelton 1993). O tempo larval dura entre 5,8 e 6,9 dias, passando por quatro instares (Steinbach *et al.* 2017). Em seguida, empupam entrando em um estado de quiescência no interior de uma pequena crisálida de seda produzida pela mesma (Talekar & Shelton 1993, Barros & Vendramim 1999). O período de pupa dura entre 3,4 e 3,8 dias. Em total, o período de desenvolvimento ovo-adulto leva entre 12,2 e 13,5 dias aproximadamente (Steinbach *et al.* 2017).

O hábito dos adultos de *P. xylostella* é noturno, visto que suas atividades iniciam no período crepuscular (Talekar & Shelton 1993). Muitos adultos emergem nas primeiras oito horas

de fotoperíodo (Pivnick *et al.* 1990) e no mesmo dia da emergência ocorre o acasalamento. Após o acasalamento, as fêmeas iniciam seu período de oviposição o qual tem uma duração de quatro a dez dias, nos quais conseguem depositar até 350 ovos durante o seu ciclo de vida (Castelo Branco & Villas Bôas 1997). A maioria dos ovos é colocada no terceiro dia e na face inferior das folhas (Imenes *et al.* 2002).

De fato, a disponibilidade constante de alimentação para a traça das brássicas permite a sua presença durante o ano todo, o que dificulta a redução das populações de maneira natural, levando os produtores a optar pelo uso sistemático e inadequado de inseticidas sintéticos (Castelo Branco & Guimarães 1990). Embora o principal método de controle para a traça das brássicas ainda seja o químico, este método apresenta vários prejuízos como contaminação e infertilidade do solo, poluição ambiental, diminuição dos inimigos naturais, e alta pressão de seleção, resultando em populações resistentes aos inseticidas empregados para seu controle (Lima Neto & Siqueira 2017).

A resistência a inseticidas é o principal problema para o controle da *P. xylostella* e isso se deve tanto a fatores intrínsecos como extrínsecos ao inseto-praga. Dentre os fatores intrínsecos de *P. xylostella* está o comportamento alimentar (Imenes *et al.* 2002), a alta capacidade migratória da praga (Chapman *et al.* 2002) e a plasticidade genética (Talekar & Shelton 1993), sendo este último, um atributo que é evidenciado pela diversidade genética que finalmente pode resultar em alterações metabólicas e manifestar mutações, o que favorece a sobrevivência à exposição de inseticidas tanto sintéticos como biológicos. Já nos fatores extrínsecos estão a não eliminação de restos culturais (Castelo Branco *et al.* 2003) e a disponibilidade de alimento durante todo ano, associada à alta pressão de seleção por aplicações sucessivas (FAO 2013).

Define-se a resistência como o desenvolvimento da habilidade herdada para tolerar doses altas de tóxicos, os quais seriam letais para a maioria dos indivíduos em uma população normal

da mesma espécie (WHO 1957, Croft & Van De Baan 1988). Em outro contexto, a evolução da resistência a um inseticida pode ser percebida quando acontecem fracassos consecutivos no controle com a dose de rótulo de um produto (IRAC 2017).

Os principais modos pelos quais os insetos conseguem desenvolver resistência são: resistência por penetração cuticular: menor penetração do inseticida, o que geralmente resulta em uma baixa intensidade da resistência (2 a 4 vezes); resistência metabólica: aumento na taxa metabólica devido à atividade de enzimas (monoxigenases dependentes do citocromo P450, esterases e glutathione *S*-transferases) e alteração do sítio alvo de ação: mudança na proteína de ligação da molécula que permite obter resistências altas (Georghiou 1983, Baffi *et al.* 2008, Brooke 2008). Por último, resistência comportamental também foi identificada em algumas espécies de artrópodes (Kongmee *et al.* 2004, Jallow & Hoy 2005).

P. xylostella já conseguiu desenvolver resistência a vários grupos de inseticidas incluindo organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, análogos de nereistoxina, benzoilureia, *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), avermectinas, espinosinas, fenilpirazois, indoxacarb, diacilidrazina e mais recentemente diamidas, no total, são 95 ingredientes ativos de inseticidas aos quais esta praga desenvolveu resistência até agora reportados em 866 casos (APRD 2019).

Os IGRs (*Insect Growth Regulators*, em inglês) são um grupo de inseticidas registrado no Brasil que vêm sendo usados na agricultura para o controle de pragas em diversas culturas (Andrei 1999), e caracterizam-se por atuar em sistemas específicos dos artrópodes, apresentando seletividade a inimigos naturais, além de baixa toxicidade a mamíferos (Kodandaram *et al.* 2010). estes inseticidas incluem as benzoilureias, as quais tem uma boa atividade biológica, baixa resistência entre os insetos e vasta seletividade (Matsumura 2010).

As benzoilureias interferem na atividade do sistema endócrino o qual regula o crescimento, metamorfose e reprodução em diversas espécies de pragas que afetam a agricultura,

interferindo com a biossíntese de quitina e consequentemente, seu processo de muda (Yang *et al.* 2014, Douris *et al.* 2016), estas interagem diretamente com o gene de quitina sintase 1 (CHS1), a pressão de seleção com estes produtos geram uma mutação na região terminal do gene na posição 1042 na qual o aminoácido isoleucina que seria encontrado em condições normais é substituído por metionina conferindo assim a característica de resistência nesta espécie (Douris *et al.* 2016).

O lufenurom é um dos integrantes desse grupo de inseticidas que atua inibindo a síntese de quitina nos insetos (Post & Vicent, 1973), o que tem como consequência uma deposição endocuticular atípica e muda abortiva (Mulder & Gijswijt 1973). Este inseticida tem atuação especificamente na cutícula do inseto e desempenha ação tóxica sobre formas imaturas, principalmente durante a ecdise. Devido à baixa toxicidade exercida sobre parasitoides, predadores e outros inimigos naturais, este tipo de inseticida tem um papel importante no manejo integrado de pragas (Cohen 1987, Merzendorfer 2006).

Em 2011 foi registrado o primeiro relato de resistência de *P. xylostella* a lufenurom no Brasil, consequência das sucessivas pulverizações de inseticidas e ao uso intenso de reguladores de crescimento nas áreas agrícolas do estado de Pernambuco (Santos *et al.* 2011). Desde então diversas pesquisas vêm sendo realizadas no laboratório de interação insetos-tóxico da Universidade Federal Rural de Pernambuco (dados não publicados) com a finalidade de ter uma melhor noção de diferentes aspectos da resistência a este inseticida e consequentemente implementação de ações que levem a melhorar o controle da praga em campo.

Lidar com a toxicidade dos inseticidas pode ser um processo dispendioso e leva consigo um alto custo energético ou desvantagem adaptativa significativa, que reduz o *fitness* do indivíduo resistente comparado com o suscetível quando está sem presença do inseticida (i.e. sem pressão de seleção), tais custos podem ser evidenciados em: aumento da duração das fases de larva e pupa, redução de peso de larvas e pupas, redução da sobrevivência, fecundidade,

fertilidade, longevidade, habilidade de evitar predação e parasitismo, produção de feromônios, aumento do número de adultos deformados, prejuízo da capacidade de dispersão entre outros (Cao & Han 2006, Kliot & Ghanim 2012, Anilkumar *et al.* 2008, Yu-ping *et al.* 2010). As consequências destas desvantagens adaptativas provenientes da resistência, vão ser refletidas na diminuição da frequência de indivíduos resistentes em uma população na ausência do inseticida, fazendo assim que aqueles genes que conferem estas características raramente se fixem na população natural (Kliot & Ghanim 2012).

O conhecimento dos custos adaptativos associados à resistência de *P. xylostella* a lufenurom, pode contribuir imensamente para o manejo integrado de pragas (MIP), sobretudo no desenvolvimento e aplicação de táticas de manejo que (i) favoreçam atuação de inimigos naturais, (ii) retornem a suscetibilidade ao inseticida, favorecendo desta forma os custos de produção no cultivo e diminuição do número de aplicações do produto em campo, aumentando a vida útil dos produtos utilizados para o controle da traça das brássicas. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo averiguar a existência de custos adaptativos associados à resistência de *P. xylostella* a lufenurom.

Literatura Citada

- Al-Shehbaz, I.A., M.A. Beilstein & E.A. Kellogg. 2006.** Systematics and phylogeny of the Brassicaceae (Cruciferae): an overview. *EA Pl. Syst. Evol.* 259: 89-120.
- Andrei, E. 1999.** Compêndio de defensivos agrícolas: guia pratico de produtos fitossanitários para uso agrícola. 6 ed. Organização Andrei. São Paulo, 672p.
- APRD. 2018.** Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University.
- Baffi, M.A., G.R.L. de Souza, C.S. de Sousa, C.R. Ceron & A.M. Bonetti. 2008.** Esterase enzymes involved in pyrethroid and organophosphate resistance in a Brazilian population of *Rhipicephallus (Boophilus) microplus* (Acari, Ixodidae). *Mol Biochem. Parasitol.* 160: 70-73.

- Barros, R. & J.D. Vendramim. 1999.** Efeito de cultivares de repolho, utilizadas para criação de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), no desenvolvimento de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). An. Soc. Entomol. Brasil 28: 469-476.
- Barros, R., I.B. Alberto Jr, A.J. Oliveira, A.C.F. Souza & V. Lopes. 1993.** Controle químico da traça das crucíferas, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) em repolho. An. Soc. Entomol. Brasil.22: 463-469.
- Batista, F.C. 2011.** Interação tritrófica de cultivares de repolho, traça-das-crucíferas e do parasitóide *Oomyzus sokolowskii* (Kurdjumov) (Hymenoptera: Eulophidae). Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco Recife, 40p.
- Brooke, B.D. 2008.** kdr: can a single mutation produce an entire insecticide resistance phenotype? Trans. Roy. Soc. Trop. Med. Hyg. 102: 524-525.
- Bondar, G. 1928.** Séria praga de repolho na Bahia e *Plutella maculipennis* Curtis. Chac. Quint. 38, 602p.
- Cao, G. & Z. Han. 2006.** Tebufenozide resistance selected in *Plutella xylostella* and its cross-resistance and fitness cost. Pest Manag. Sci. 62: 746-751.
- Carvalho, C., B.B. Kist & H. Poll. 2013.** Anuário brasileiro de hortaliças 2013, Santa Cruz do Sul. 88p.
- Carvalho, J.S., S.A. Bortoli, R.T. Thuler, R.M. Goulart & H.X.L. Volpe. 2010.** Efeito de sinigrina aplicada em folhas de brássicas sobre características biológicas de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae). Acta Sci. Agron. 32: 15-20.
- Castelo Branco, M. & A.L. Guimarães. 1990.** Controle da traça das crucíferas em repolho, 1989. Hortic. Bras. 10: 24-25.
- Castelo Branco, M., F.H. França, L.A. Pontes & P.S.T. Amaral. 2003.** Avaliação da suscetibilidade a inseticidas em populações de traça-das-crucíferas de algumas áreas do Brasil. Hortic. Bras. 21: 549-552.
- Castelo Branco, M., F.H. França, M.A. Medeiros & J.G.T. Leal. 2001.** Uso de inseticidas para o controle da traça-do-tomateiro e traça-das-crucíferas: um estudo de caso. Hortic. Bras. 19: 60-63.
- Chapman, J.W., D.R. Reynolds, A.D. Smith, J.R. Riley, D.E. Pedgley & I.P. Woiwod. 2002.** High-altitude migration of the diamondback moth *Plutella xylostella* to the U.K.: a study using radar, aerial netting, and ground trapping. Ecol. Entomol. 27: 641-650.
- Charleston, D.S. & R. Kfir. 2000.** The possibility of using Indian mustard, *Brassica juncea*, as a trap crop for the diamondback moth, *Plutella xylostella*, in South Africa. Crop Prot. 19: 455-460.

- Cohen, E. 1987.** Chitin Biochemistry: Synthesis and Inhibition. *Annu. Rev. Entomol.* 32: 71-93.
- Croft, B.A. & H.E. Van De Baan. 1988.** Ecological and genetic factors influencing evolution of pesticide resistance in tetranychid and phytoseiid mites. *Exp. Appl. Acarol.* 4: 277-300.
- Dickson, M.H., A.M. Shelton, S.D. Eigenbrode, M.L. Vamosy & M. Mora. 1990.** Selection for Resistance to Diamondback Moth (*Plutella xylostella*) in Cabbage. *HortScience* 25: 1643-1646.
- Douris, V., D. Steinbach, R. Panteleri, L. Livadaras, J.A. Pickett, T. Van Leeuwen, R. Nauen & J. Vontas. 2016.** Resistance mutation conserved between insects and mites unravels the benzoylurea insecticide mode of action on chitin biosynthesis. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113(51): 14692-14697.
- FAO. 2016.** FAOSTAT, Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. 2013.** Directrices sobre la prevención y manejo de la resistencia a los plaguicidas. Italia, 59p.
- Gallo, D., O. Nakano, S. Silveira Neto, R.P.L. Carvalho, G.C. Baptista, E. Berti Filho, J.R.P. Parra, R.A. Zuchhi, S.B. Alves, J.D. Vendramim, L.C. Marchini, J.R.S. Lopes & C. Omoto. 2002.** *Entomologia Agrícola*. Piracicaba, FEALQ, 920p.
- Georghiou, G.P. 1983.** Management of resistance in arthropods, p. 769-792. In G.P. Georghiou (ed.), *Pest Resistance to Pesticides*, 1 ed. Springer US, New York, Plenum. 810p.
- Imenes, S.D.L., T.B. Campos, S.M. Rodrigues Netto & E.C. Ergmann. 2002.** Avaliação da atratividade de feromônio sexual sintético da traça-das-crucíferas, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) em cultivo orgânico de repolho. *Arq. Inst. Biol.* 69: 81-84.
- Jallow, M.F.A. & C.W. Hoy. 2005.** Phenotypic variation in adult behavioral response and offspring fitness in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae) in response to permethrin. *J. Econ. Entomol.* 98: 2195-2202.
- Kliot, A. & M. Ghanim. 2012.** Fitness costs associated with insecticide resistance. *Pest Manag. Sci.* 68: 1431-1437.
- Kodandaram, M., A. Rai & J. Halder. 2010.** Novel insecticides for management of insect pest in vegetable crops: a review. *Veg. Sci.* 37: 109-123.
- Kongmee, M., A. Prabaripai, P. Akwatanakul, M.J. Bangs & T. Chareonviriyaphap. 2004.** Behavioral responses of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) exposed to deltamethrin and possible implications for disease control. *J. Med. Entomol.* 41: 1055-1063.

- LeCoz C. & G. Ducombs. 2006.** Plants and plant products, p. 751–800. In: J. D. Johansen, P.J. Frosch, T. Menne, J.P. Lepottevin (eds.). Contact Dermatitis, 4th ed., Germany Springer Berlin-Heidelberg, 1262p.
- Lima Neto, J.E. & H.A.A. Siqueira. 2017.** Selection of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: plutellidae) to chlorfenapyr resistance: heritability and the number of genes involved. Rev. Caatinga 30: 1067-1072.
- Matsumura, F. 2010.** Studies on the action mechanism of benzoylurea insecticides to inhibit the process of chitin synthesis in insects: A review on the status of research activities in the past, the present and the future prospects. Pestic. Biochem. Physiol. 97: 133-139.
- Michereff, S.J., M.A. Noronha, O.M. Rocha Jr, J.A. Silva & E.S.G. Mizubuti. 2003.** Variabilidade de isolados de *Alternaria brassicicola* no Estado de Pernambuco. Fitopatol. Bras. 28: 656-663.
- Mulder, R. & M.J. Gijswijt. 1973.** The laboratory evaluation of two promising new insecticides which interfere with cuticle deposition. Pestic. Sci. 4: 737-745.
- Pivnick, K.A., B.J. Jarvis, C. Gillott, G.P. Slater & E.W. Underhill. 1990.** Daily patterns of reproductive activity and the influence of adult density and exposure to host plants on reproduction in the diamondback moth (Lepidoptera: Plutellidae). Environ. Entomol. 19: 587-593.
- Steinbach, D., G. Moritz & R. Nauen. 2017.** Fitness costs and life table parameters of highly insecticide-resistant strains of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) at different temperatures. Pest Manag. Sci. 73: 1789-1797.
- Talekar, N.S. & A.M. Shelton. 1993.** Biology, Ecology, and Management of the Diamondback Moth. Annu. Rev. Entomol. 38: 275-301.
- Ulmer, B., C. Gillott, D. Woods & M. Erlandson. 2002.** Diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.), feeding and oviposition preferences on glossy and waxy *Brassica rapa* (L.) lines. Crop Prot. 21: 327-331.
- WHO. 1957.** Expert Committee on Insecticides: seventh report of a meeting held in Geneva from 10 to 17 July 1956. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Yang, M., P. Zhang, L. Hu, R. Lu, W. Zhou, S. Zhang & H. Gao. 2014.** Ionic liquid-assisted liquid-phase microextraction based on the solidification of floating organic droplets combined with high performance liquid chromatography for the determination of benzoylurea insecticide in fruit juice. J. Chromatogr. A 1360: 47-56.
- Zalucki, M.P., A. Shabbir, R. Silva, D. Adamson, L. Shu-Sheng & M.J. Furlong. 2012.** Estimating the Economic Cost of One of the World's Major Insect Pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): Just How Long Is a Piece of String? J. Econ. Entomol. 105: 1115-1129

CAPÍTULO 2

EXISTEM CUSTOS ADAPTATIVOS EM *Plutella xylostella* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE) RESISTENTE AO LUFENUROM?

NATALIA C. BERMÚDEZ¹

Departamento de Agronomia-Entomologia, Universidade Federal Rural de Pernambuco. Rua
Dom Manoel de Medeiros s/n, Dois Irmãos, 52171-900, Recife, PE

¹ Bermúdez, N.C. 2019. Existem custos adaptativos em *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) resistente ao lufenurom? A ser submetido.

RESUMO - *Plutella xylostella* é a principal praga das brássicas mundialmente e sua resistência a 95 ingredientes ativos dificulta seu controle. Objetivou-se avaliar a existência de *fitness* associado à resistência de *P. xylostella* ao lufenurom. Bioensaios de suscetibilidade realizaram-se para as populações suscetível (REC-S), resistente (BZR-R), suas progênies F1 e F1' e população resistente relaxada (BZNS) por 4 gerações. O efeito da alimentação com inseticida no adulto foi analisado, mediante tabelas de vida e fertilidade e comparados parâmetros biológicos entre REC-S e BZR-R. BZNS reduziu sua razão de resistência 1,8 vezes. O período larval teve uma diferencia significativa entre populações e o peso pupal foi significativamente maior em REC-S. A sobrevivência dos machos diferiu significativamente entre populações. Tempo médio de geração (T), taxa intrínseca de crescimento (r_m) e tempo de duplicação da população (TD) diferiram entre REC-S e as progênies, apresentando *fitness* de 0,52 e 0,64 para F1 e F1' respectivamente. Quando adultos foram alimentados com dose de campo, longevidade, período de oviposição, fecundidade, fertilidade e sobrevivência de BEZ-R mostraram-se superiores àqueles REC-S. Estes resultados sugerem que não existe *fitness* associado à resistência de *P. xylostella* ao lufenurom, a resistência de *P. xylostella* a lufenurom é estável, heterozigotos possuem *fitness* inferior do que seus parentais, sugerindo ser recessivo e populações resistentes ao lufenurom tem vantagem frente a suscetíveis expostas à dose de campo. A rotação de modos de ação pode contribuir no controle, particularmente do fenótipo suscetível, focado nos heterozigotos.

PALAVRAS-CHAVE: Traça das brássicas, Plutellidae, tabela de vida, IGRs, benzoilureias, *fitness*

IS THERE FITNESS IN *PLUTELLA XYLOSTELLA* (L.) (LEPIDOPTERA: PLUTELLIDAE)
RESISTANT TO LUFENURON?

ABSTRACT – *Plutella xylostella* is the main pest of brassicas worldwide and its resistance to 95 active ingredients makes it difficult to control. The objective of this study was to evaluate the existence of fitness associated with resistance of *P. xylostella* to lufenuron. Susceptibility bioassays were performed for susceptible (REC-S), resistant (BZR-R) populations, their F1 and F1 'progenies and relaxed resistant population (BZNS) for 4 generations. The effect of insecticide feeding on adults was analyzed using life and fertility tables and comparing biological parameters between REC-S and BZR-R. BZNS reduced its resistance ratio by 1.8 times. The larval period had a significant difference between populations and pupal weight was significantly higher in REC-S. Male survival differed significantly between populations. Mean generation time (T), intrinsic growth rate (rm) and population doubling time (TD) differed between REC-S and progenies, with fitness of 0.52 and 0.64 for F1 and F1 'respectively. When adults were fed field dose, longevity, oviposition period, fecundity, fertility and survival of BEZ-R were superior to those REC-S. These results suggest that there is no fitness associated with *P. xylostella* resistance to lufenuron, *P. xylostella* resistance to lufenuron is stable, heterozygotes have lower fitness than their parents, suggesting to be recessive and lufenuron resistant populations have an advantage over susceptible ones. exposed to the field dose. Rotation of modes of action may contribute to the control, particularly of the susceptible phenotype, focused on heterozygotes.

KEY WORDS: Diamondback moth, Plutellidae, life table, IGRs, benzoylureas, *fitness*

Introdução

Plutella xylostella (L.) é a principal praga das brássicas no mundo e estima-se que o custo anual para seu controle varie entre 4-5 bilhões de dólares por ano (Zalucki *et al* 2012), isso devido a sua alta plasticidade genética e à alta pressão de seleção de inseticidas, que pode levar a alterações metabólicas e selecionar mutações que tornaram esta praga resistente ao controle químico (FAO 2013). Até o ano de 2018, *P. xylostella* desenvolveu resistência a 95 ingredientes ativos de vários grupos de inseticidas que incluem organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, análogos de nereistoxina, *Bacillus thuringiensis* (Bt), avermectinas, espinosinas, fenilpirazóis, oxadiazinas, diacilidrazinas, diamidas e benzoilureias (APRD 2019). O lufenurom (uma benzoilureia que funciona como um regulador de crescimento de insetos, do inglês, 'IGR') interfere na biossíntese de quitina, portanto, no processo de muda (Yang *et al.* 2014, Douris *et al.* 2016) em diversas espécies de insetos que afetam a agricultura. As benzoilureias interagem diretamente com o gene de quitina sintase 1 (*chs1*), impedindo a polimerização correta da quitina. Com as pressões de seleção impostas por estes produtos, uma mutação (I1042M) na região terminal do gene na posição 1042 foi selecionada, conferindo assim a característica de resistência a benzoilureias nesta espécie (Douris *et al.* 2016). Devido a sua toxicidade baixa sobre parasitoides, predadores e outros inimigos naturais, este tipo de inseticida tem um papel importante no manejo integrado de pragas (Cohen 1987, Merzendorfer 2006).

O primeiro relato de resistência de *P. xylostella* a lufenurom no Brasil foi registrado em Pernambuco por (Santos *et al.* 2011), como resultado do uso indiscriminado deste inseticida na região. Já é bem conhecido que o desenvolvimento de resistência a inseticidas, normalmente resulta em custos adaptativos na ausência de exposição a esses produtos (Gassmann *et al.* 2008). Estudos anteriores com *P. xylostella* mostraram que existem custos como aumento no tempo de desenvolvimento, diminuição do peso em diferentes instares, diminuição no período de

oviposição, fecundidade e fertilidade, os quais são consequências diretas da resistência a inseticidas, que posteriormente resulta em *fitness* reduzido (Guo *et al.* 2013, Ribeiro *et al.* 2014, Shen *et al.* 2017, Steinbach *et al.* 2017). Alguns exemplos de insetos com custo adaptativo devido à resistência incluem *Cydia pomonella* (L.) (Boivin *et al.* 2001), *Musca domestica* (L.) (Shah *et al.* 2017), *Spodoptera frugiperda* (Niu *et al.* 2018) entre outros. Além disso, o *fitness* reduzido também pode ocorrer nas progênes resultantes dos cruzamentos entre suscetíveis e resistentes (Guo *et al.* 2013, Wang & Wu 2014). Quando se constata custos adaptativos em populações resistentes, táticas de manejo como ataque múltiplo são sugeridas pois respondem mais efetivamente. Populações de *P. xylostella* resistentes a benzoilureias da região, quando estabelecidas em laboratório sem pressão de seleção, se observa baixa redução na tolerância a estas, sugerindo não haver custos. Para esta constatação, este trabalho teve como objetivo avaliar a existência de custos adaptativos em uma população resistente ao lufenurona comparada com uma população suscetível assim como para suas progênes.

Material e Métodos

Obtenção e Criação dos Insetos. Duas populações de *P. xylostella* foram usadas no estudo, uma suscetível e outra resistente. A população suscetível (REC-S) foi coletada no município de Chã Grande e mantida em laboratório desde 1998 sem qualquer contato com inseticidas. A população resistente (BEZ-R) proveniente do município de Bezerros, PE, Brasil, foi mantida sob pressão de seleção durante 34 gerações consecutivas, sendo alimentada com folhas de couve tratadas com 1000 mg de lufenurona (Match CE 50 i.a. g/L, Syngenta S.A., São Paulo-SP), usando larvas de segundo instar. As alimentações seguintes foram feitas com folhas de couve livres de tratamento com inseticidas. As populações são mantidas desde a coleta no Laboratório de Interação Insetos-Tóxicos (LIIT) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) *campus* Recife, PE,

Brasil. Após a diferenciação fenotípica entre as populações citadas anteriormente, foram feitos cruzamentos recíprocos entre a população REC-S e BEZ-R para a obtenção das progênes F_1 ($\text{♀R} \times \text{♂S}$) e F_1' ($\text{♀S} \times \text{♂R}$). Ainda foi avaliada a população resistente sem pressão de seleção por 4 gerações consecutivas, denominada (BZRNS), após dividir a população resistente (BEZR-R) em duas. As populações foram alimentadas com folhas de couve (*B. oleracea* var. *acephala*) sem contato com inseticidas. Aos adultos foram ofertados solução de mel a 10% para alimentação e folhas de couve como substrato para oviposição (Barros & Vendramim 1999).

Bioensaios de Suscetibilidade. Com a finalidade de estimar a CL_{50} das populações foram feitas curvas de concentração-resposta para cada uma. Discos de folhas de couve (5 cm de diâmetro) foram lavados com hipoclorito de sódio a 5%, depois foram enxaguados com água corrente e lavados novamente com água destilada. Em seguida, foram imersos durante cinco segundos em concentrações crescentes de lufenurom + espalhante adesivo Triton X-100 (0,01%) e colocados para secagem em temperatura ambiente sobre papel toalha. O controle foi composto por folhas de couve tratadas apenas com água destilada e Triton X-100 (0,01%). Após secagem, os discos tratados foram transferidos para placas de Petri (60 x 15 mm), contendo um papel de filtro (5 cm) embebido com 100 μL de água destilada. Para cada placa foram transferidas 10 lagartas de segundo instar as quais foram mantidas em câmara climatizada tipo B.O.D. ($25 \pm 1^\circ \text{C}$, UR $65 \pm 5\%$ e 12 h de fotoperíodo). A mortalidade foi avaliada 96 h após a exposição. O critério utilizado para as avaliações se baseou no caminhar das larvas equivalente ao comprimento do seu corpo após serem tocadas suavemente com um pincel de cerdas macias, sendo consideradas mortas aquelas que não conseguiram caminhar pelo menos o comprimento do seu corpo.

Parâmetros Biológicos. Os ensaios feitos para a comparação do *fitness* foram avaliados em condições controladas em câmara climatizada tipo B.O.D. ($25 \pm 1^\circ \text{C}$, UR $65 \pm 5\%$ e 12 h de fotoperíodo). Em placa de Petri de 5 cm de diâmetro contendo um disco de folha de couve e papel

filtro embebido com 100 μ L de água destilada foi transferida uma neonata de *P. xylostella* (parcela) da qual foi avaliado o tempo de desenvolvimento, durante o qual as folhas foram substituídas diariamente. No total foram 125 parcelas por população. Quando as lagartas atingiram o quarto instar, o sexo foi determinado e separados até formarem pupas. As pupas foram coletadas e individualizadas em tubos de ensaio fechados com algodão para facilitar a respiração, posteriormente foi realizada a pesagem das pupas 24h depois de empupar. Após a emergência dos adultos foi confirmado o sexo. Onze casais de cada população foram formados e colocados em gaiolas individuais, as quais foram elaboradas com copos descartáveis de 300 mL, conforme a metodologia descrita por Barros & Vendramim (1999). Em cada copo foi oferecida em uma placa Petri de 5 cm de diâmetro um disco de couve com o mesmo diâmetro da placa e papel filtro embebido com 100 μ L de água destilada, que foi trocada diariamente até a última mariposa morrer. O número de ovos foi contabilizado a cada 24 horas após formação dos casais. Depois de dois dias de oviposição, foram contabilizadas as lagartas eclodidas por três dias consecutivos. Uma amostra das lagartas de primeiro instar foi mantida em bandeja utilizada para criação, fornecendo uma folha de couve diariamente até as larvas empuparem, quando as larvas atingiram o quarto instar foi determinado o sexo e separadas em fêmeas e machos. As pupas foram coletadas e individualizadas em tubos de ensaio fechados com algodão para facilitar a respiração. Após a emergência dos adultos, foram confirmados o sexo e os dados registrados para o cálculo da razão sexual.

Parâmetros das Tabelas de Vida e Fertilidade. Dados sobre desenvolvimento e viabilidade (taxa de emergência de adultos), reprodução e sobrevivência de adultos foram utilizados para estimar a taxa reprodutiva líquida (R_0), o tempo médio de geração (T), a taxa intrínseca de crescimento natural (r_m), o tempo de duplicação da população (TD) e a razão finita de aumento (λ) adaptando o procedimento descrito por Maia *et al.* (2000), usando o software SAS (SAS

Institute 2001), baseado no método Jackknife para estimar intervalos de confiança e permitir comparações entre populações. Os parâmetros determinados foram comparados por pares entre populações usando a sobreposição do Intervalo de Confiança (IC) a 95% de probabilidade (Di Stefano 2005).

O *fitness* relativo da estirpe resistente foi calculado como $R_f = R_0$ da população resistente / R_0 da população suscetível. $R_f > 1$ sugere que a população resistente tem um *fitness* positivo; $R_f < 1$ sugere que a população resistente tem um *fitness* reduzido (Cao & Han 2006).

Efeito da Alimentação com Lufenurom em Adultos de *Plutella xylostella*. Foram sexados 100 machos e 100 fêmeas da população suscetível REC-S e Resistente BEZ-R no quarto ínstar da fase larval, as pupas formadas foram individualizadas em tubos de ensaio tampados com algodão até as mariposas emergirem, uma vez os adultos emergiram, foram formados 40 casais de cada população, como descrito anteriormente. Os casais foram alimentados com solução de mel a 10% nos controles e com soluções de mel a 10% mais 1 mg, 50 mg e 800 mg de i.a. lufenurom/L (Match CE) nos tratamentos. Estas concentrações foram baseadas nas CL_{50} das populações anteriormente mencionadas e na dose de campo recomendada para o uso do inseticida. Os parâmetros avaliados foram: período de oviposição, fecundidade, fertilidade e longevidade das duas populações sob o tratamento como descrito anteriormente.

Análise de Dados Os dados de mortalidade foram submetidos à análise de Probit (Finney 1971) após correção da mortalidade (Abbott 1925), utilizando o programa POLO – Plus (Software 2005) Para determinar as semelhanças ou diferenças significativas entre as populações de *P. xylostella*, dados que não assumiram normalidade (Período larval, período pupal, peso de pupa) foram comparados por análise não paramétrica (PROC NPAR1WAY). Foi realizado o teste de Kruskal-Wallis seguido do teste de Wilcoxon-Mann-Whitney a 5% de probabilidade. Dados que assumiram normalidade (longevidade, período de oviposição, fecundidade e fertilidade) foram analisados com

ANOVA (PROC GLM) seguida do teste Tukey (HSD). Para determinar a diferença da razão sexual e viabilidade de pupas entre as populações foi utilizado (PROC FREQ). Para a construção das curvas de sobrevivência dos adultos, foi utilizado o teste de log-rank, usando o método de kaplan-meyer (PROC LIFETEST). Todos os dados foram analisados no programa estatístico SAS (SAS Institute 2001).

Resultados

Curvas de Concentração-Mortalidade. As curvas de concentração mortalidade para o inseticida lufenurom se ajustaram ao modelo de Probit (χ^2 não significativo, $P > 0,05$). A população suscetível REC-S apresentou uma CL_{50} com valor de 0,71 mg de i.a. lufenurom/L contrastando com a população resistente BEZ-R que obteve uma CL_{50} com valor de 870,5 mg de i.a. lufenurom/L. Os valores de CL_{50} das progênies F1'e F1 foram 2,12 e 3,80 mg de i.a. lufenurom/L, respectivamente, e a população BEZNS apresentou uma CL_{50} com valor de 479,37 mg de i.a. lufenurom/L (Tabela 1). A RR_{50} da população BEZ-R foi 1224,26 vezes comparada com a população REC-S, seguida pela população BEZNS com RR_{50} de 674,19 vezes. A RR_{50} das progênies F1 e F1' foi de 7,62 e 2,98 vezes, respectivamente (Tabela 1).

Período Larval. O período larval teve uma diferença significativa entre as populações (Wilcoxon $\chi^2= 156,47$, $GL= 4$, $P<,0001$). A população suscetível teve um período larval significativamente menor do que BEZ-R, F1, F1' e BEZNS (Wilcoxon $\chi^2= 30,70$, $GL= 1$, $P<,0001$; Wilcoxon $\chi^2= 70,59$, $GL= 1$, $P<,0001$; Wilcoxon $\chi^2= 86,19$, $GL= 1$, $P<,0001$ e Wilcoxon $\chi^2= 114,11$, $GL= 1$, $P<,0001$), respectivamente. O período larval de BEZ-R foi significativamente menor do que BEZNS (Wilcoxon $\chi^2=30,58$, $GL=1$, $P<0,0001$). Os períodos larvais das progênies F1 e F1' não diferiram entre si (Wilcoxon $\chi^2=21,74$, $GL=1$, $P=0,641$); porém tiveram um período larval

significativamente maior do que BEZ-R e BEZNS (Wilcoxon $\chi^2=38,77$, GL=2, $P<0,0001$; Wilcoxon $\chi^2=9,47$, GL=2, $P=0,0087$), respectivamente (Tabela 2).

Período Pupal, Peso e Viabilidade de Pupas. Houve diferença significativa no período pupal entre as populações (Wilcoxon $\chi^2=14,74$, GL=4, $P=0,005$), porém, quando comparado individualmente a população suscetível REC-S com a população BEZ-R (Wilcoxon $\chi^2=3,41$, GL=1, $P=0,064$), F1 (Wilcoxon $\chi^2=2,83$, GL=1, $P=0,092$), F1' (Wilcoxon $\chi^2=0,0075$, GL=1, $P=0,093$) e BEZNS (Wilcoxon $\chi^2=1,85$, GL=1, $P=0,173$) não tem diferença significativa. Os períodos pupais da população suscetível REC-S, resistente BEZ-R e a progênie F1 não diferiram entre elas (Wilcoxon $\chi^2=4,37$, GL=2, $P=0,112$) e foram significativamente maiores do que BEZNS e F1. O período pupal entre BEZNS E F1 não diferiram entre elas (Wilcoxon $\chi^2=0,42$, GL=1, $P=0,51$) (Tabela 2).

A população BEZ-R, as progênies F1 e F1' e BEZNS não mostraram diferença significativa no peso das pupas (Wilcoxon $\chi^2=0,90$, GL=3, $P=0,825$), porém foram significativamente menores do que a população suscetível REC-S (Wilcoxon $\chi^2=10,53$, GL=4, $P=0,03$). A viabilidade de pupa não teve diferença significativa entre as populações ($P>0,05$, GL=4) (Tabela 2).

Razão Sexual, Período de Oviposição, Fecundidade e Fertilidade. A razão sexual ($P>0,05$, GL=4) e o período de oviposição ($P>0,05$, GL=4) não foi estatisticamente diferente entre as populações (Tabela 3). A fecundidade foi significativamente diferente entre as populações (ANOVA, $P<0,005$, $F=4,27$, GL=4). A progênie F1 obteve uma maior fecundidade 265,81 ($\pm 9,21$) comparada com a progênie F1' 205,09 ($\pm 17,42$) e BEZNS 188,45 ($\pm 19,27$), no entanto, F1 não foi diferente das populações REC-S 241,36 ($\pm 14,05$) e BEZ-R 213,8 ($\pm 12,10$) (Tabela 3).

A fertilidade da população suscetível REC-S 153,09 ($\pm 19,93$) não apresentou diferença estatística comparada com as demais populações, porém, existe diferença entre a população F1

175,27 ($\pm 12,33$) sendo significativamente maior do que a população BEZNS 113,36 ($\pm 17,32$) (ANOVA, $P < 0,05$, $F = 2,89$, $GL = 4$) (Tabela 3).

Longevidade. Não existe diferença significativa na longevidade das fêmeas entre as populações ($P > 0,05$, $GL = 4$) (Tabela 3). Nos machos, a longevidade da população resistente BEZ-R 19,45 ($\pm 1,31$) foi maior e significativamente diferente (ANOVA, $P < 0,005$, $F = 4,76$, $GL = 4$) do que as populações F1', F1 e BEZNS 10,09 ($\pm 0,93$), 13,27 ($\pm 1,28$) e 13,36 ($\pm 1,13$) respectivamente, porém, não diferiu da população suscetível REC-S 14,27 ($\pm 1,47$) (Tabela 3).

Sobrevivência. Não existe diferença significativa da sobrevivência das fêmeas entre as populações (Log-rank, $\chi^2 = 4,42$, $GL = 4$, $P = 0,35$), mas diferenças significativas da sobrevivência dos machos entre as populações foram observadas (Log-rank, $\chi^2 = 27,67$, $GL = 4$, $P < 0,0001$). Os machos da população resistente BEZ-R apresentaram uma sobrevivência maior e significativamente diferente do que os machos das populações F1 e F1' e BEZNS (Log-rank, $\chi^2 = 26,67$, $GL = 3$, $P < 0,0001$), no entanto, a sobrevivência dos machos da população resistente BEZ-R não difere da população suscetível REC-S (Log-rank, $\chi^2 = 1,62$, $GL = 1$, $P = 0,201$) (Fig. 1). Os machos da população suscetível REC-S tiveram uma sobrevivência significativamente maior do que os machos das populações F1' e BEZNS (Log-rank, $\chi^2 = 9,74$, $GL = 2$, $P = 0,007$), porém não diferiu significativamente da população F1 (Log-rank, $\chi^2 = 3,83$, $GL = 1$, $P = 0,05$) (Fig. 1). Os machos das populações F1, F1' e BEZNS não diferiram significativamente entre elas (Log-rank, $\chi^2 = 1,73$, $GL = 2$, $P = 0,42$) (Fig. 1).

Parâmetros de Crescimento Populacional. A população que apresentou maior taxa líquida de reprodução (R_0) foi a população suscetível REC-S 53,17 (46,21 – 60,13) diferindo significativamente das populações F1 28,19 (26,02 – 30,37) e F1' 34,06 (27,61 – 40,51), no entanto, a R_0 da população suscetível REC-S não diferiu das populações BEZ-R 46,50 (40,63 – 52,37) e BEZNS 39,39 (30,27 – 48,52) (Tabela 4). O tempo médio de geração (T) da população

suscetível REC-S foi significativamente menor do que para as outras populações (Tabela 4). A maior taxa intrínseca de crescimento (r_m) foi obtida pela população suscetível REC-S 0,24 (0,23 – 0,25) seguida pela população resistente BEZ-R 0,21 (0,21 – 0,22), estas obtiveram uma diferença significativa entre elas e entre as outras populações. Entre as populações F1, F1' e BEZNS, a r_m não teve diferença significativa (Tabela 4). O tempo de duplicação da população (TD) foi significativamente menor para a população suscetível REC-S 2,86 (2,74 – 2,97), seguida pela população resistente BEZ-R 3,16 (3,03 – 3,28), F1, F1' e BEZNS obtiveram valores de TD de 3,83 (3,76 – 3,90); 3,50 (3,31 – 3,68) e 3,54 (3,30 – 3,78), respectivamente, não sendo significativamente diferente (Tabela 4). A razão finita de aumento (λ) foi mais alta para a população suscetível REC-S, porém não diferiu da população resistente BEZ-R com valores de 1,27 (1,26 – 1,29) e 1,24 (1,23 – 1,26), respectivamente. As populações F1' e BEZNS com valores de λ 1,22 (1,21 – 1,23) e 1,21 (1,20 – 1,23), respectivamente, não tiveram diferença estatísticas entre elas e também com a população resistente BEZ-R, porém, foram significativamente menores do que a população suscetível REC-S. Quanto aos valores de *fitness*, BEZ-R, F1, F1' e BEZNS apresentaram valores de 0,87; 0,52; 0,64 e 0,74, respectivamente (Tabela 4).

Período de Oviposição, Fecundidade e Fertilidade de Adultos Tratados com Lufenom. O período de oviposição das populações REC-S e BEZ-R não foi significativamente diferente ($P>0,05$, $GL=1$) para os tratamentos de 0, 1 e 800 mg de i.a. lufenom /L (Tabela 5). Quando adultos foram alimentados com solução de mel a 10% e 50 mg de i.a. lufenom /L, a população resistente BEZ-R obteve uma média em dias no período de oviposição de 8,2 ($\pm 1,54$) a qual foi significativamente maior (ANOVA, $P<0,005$, $F=14,49$, $GL=1$) do que a população suscetível REC-S 5 ($\pm 2,16$) (Tabela 5).

A fecundidade das fêmeas alimentadas com solução de mel a 10% e 50 mg de i.a. lufenurom /L, foi significativamente maior (ANOVA, $P < 0,05$, $F = 5,50$, $GL = 1$) na população resistente BEZ-R com uma média de 127 ($\pm 18,81$) comparada com a população suscetível REC-S 70,5 ($\pm 15,05$) (Tabela 5, Fig 2). Nos tratamentos de 0, 1 e 800 mg de i.a. lufenurom /L, a fecundidade não teve diferença significativa ($P > 0,05$, $GL = 1$) entre as populações (Tabela 5, Fig. 2).

A fertilidade mostrada pela população resistente BEZ-R 89,5 ($\pm 13,51$) foi maior do que a população suscetível REC-S 41,5 ($\pm 11,19$) quando adultos foram alimentados com solução de mel a 10% e 50 mg de i.a. lufenurom /L, mostrando uma diferença significativa (ANOVA, $P < 0,05$, $F = 7,48$, $GL = 1$) (Tabela 5). Não houve diferença significativa na fertilidade das populações nos tratamentos de 0, 1 e 800 mg de i.a. lufenurom /L ($P > 0,05$, $GL = 1$) (Tabela 5).

Longevidade. Nos tratamentos de 0, 1 e 800 mg de i.a. lufenurom /L, a longevidade das fêmeas não teve diferença significativa ($P > 0,05$, $GL = 1$), no entanto, fêmeas da população resistente BEZ-R alimentadas com solução de mel a 10% e 50 mg de i.a. lufenurom /L obteve uma média de 11,8 ($\pm 0,80$) a qual difere significativamente (ANOVA, $P < 0,05$, $F = 7,88$, $GL = 1$) da população suscetível REC-S com média de 8,7 ($\pm 0,76$) (Tabela 5). A longevidade dos machos da população resistente BEZ-R foi significativamente maior (corrigida ANOVA, $P = 0,008$ $F = 8,90$, $GL = 1$) do que a população suscetível REC-S quando adultos foram alimentados com solução de mel a 10% e 0 mg de i.a. lufenurom /L (Tabela 5). Não teve diferença significativa entre as populações quando foram alimentadas com solução de mel a 10% e 1, 50 ou 800 mg de i.a. lufenurom /L ($P > 0,05$, $GL = 1$).

Sobrevivência. Quando adultos foram alimentados com solução de mel a 10% e 50 mg de i.a. lufenurom /L, as fêmeas da população resistente BEZ-R obtiveram uma sobrevivência significativamente maior do que as fêmeas da população suscetível (Log-rank, $\chi^2 = 10,61$, $GL = 1$, $P = 0,001$), não obstante, fêmeas alimentadas com solução de mel a 10% e 0, 1 ou 800 mg de i.a.

lufenurom /L não mostraram diferença significativa entre as populações (Log-rank, $\chi^2=1,406$, GL=1, P=0,23); (Log-rank, $\chi^2=1,071$, GL=1, P=0,30) e (Log-rank, $\chi^2=0,288$, GL=1, P=0,59) respectivamente (Fig 3). A sobrevivência dos machos foi significativamente maior na população resistente BEZ-R comparada com a sobrevivência dos machos da população suscetível quando alimentados com solução de mel a 10% e 0 ou 50 mg de i.a. lufenurom /L (Log-rank, $\chi^2=8,884$, GL=1, P=0,002) e (Log-rank, $\chi^2=7,166$, GL=1, P=0,007) respectivamente; contudo, não teve diferença entre as populações quando alimentados com mel a 10% e 1, ou 800 mg de i.a. lufenurom /L (Log-rank, $\chi^2=0,030$, GL=1, P=0,86) e (Log-rank, $\chi^2=1,956$, GL=1, P=0,32) respectivamente (Fig. 4).

Discussão

A resistência é uma das principais problemáticas no controle da *P. xylostella* em campo. Já foi relatado que esta praga conseguiu desenvolver resistência a mais de 90 ingredientes ativos dentre os quais se encontram os IGRs como o lufenurom (APRD 2019). No Brasil, o primeiro relato de resistência a lufenurom foi consequência da pressão de seleção gerada em campo devido às sucessivas pulverizações com este produto e outros IGRs em áreas de produção agrícola no estado de Pernambuco (Santos *et al.* 2011). Aqui, se investigou as diferenças nos parâmetros biológicos de uma população suscetível (REC-S) com uma resistente (BEZ-R), além dos seus cruzamentos recíprocos para determinar a existência de um custo adaptativo associado à resistência. A população não selecionada (BEZNS) apresentou uma ligeira queda na CL₅₀ após quatro gerações sem pressão de seleção quando comparada a população BEZ-R, apresentando uma redução de apenas 1,8 vezes, sugerindo assim que a resistência de *P. xylostella* ao lufenurom seja estável. Resultados similares para outro IGR testado com *Musca domestica*, mostraram que a CL₅₀ da população resistente diminuiu de 109,47 (79,91–165,68) para 45,24 (28,26–65,58) após

cinco gerações sem pressão de seleção com o inseticida metoxifenoazida (Shah 2017). De acordo com Gassmann *et al.* (2008) a instabilidade da resistência na ausência de pressão de seleção pode sugerir uma provável existência de custos de adaptativos associados à resistência à inseticidas.

Estudos realizados com populações de *P. xylostella* mostraram que populações resistentes sofriam altos custos adaptativos devido a fatores como: maior tempo de desenvolvimento larval e menor massa corporal entre ínstaes (Guo *et al.* 2013, Ribeiro *et al.* 2014, Shen *et al.* 2017, Steinbach *et al.* 2017) estes mesmos resultados foram encontrados para *Cydia pomonella* (Boivin *et al.* 2001). Neste estudo, o período larval se mostrou maior para população resistente quando comparado com a suscetível, porém esse aumento foi mais significativo para as progênes. Além disso, o peso das pupas da população suscetível foi superior quando comparado ao peso das pupas da população resistente e as progênes obtidas pelos cruzamentos, levando a sugerir que existem efeitos transgeracionais que levam a sofrer custos adaptativos.

É importante a comparação do *fitness* das progênes com o das parentais suscetíveis, por serem portadores mais comuns da resistência, principalmente no estado inicial da evolução no campo (Roush & Daly 1990), sobretudo, devido a provável recessividade da resistência de *P. xylostella* a lufenurum encontrada em este estudo, quando comparadas as CL_{50} obtidas para os parentais e progênes. Os resultados deste trabalho mostraram que a resistência a lufenurum nas progênes apresentam um alto custo adaptativo, que levou a *P. xylostella* a ter desvantagens no *fitness* quando comparadas os parentais. Resultados similares para a traça das brássicas foram obtidos por Wang & Wu (2014) que comparam a taxa de reposição líquida (R_0) das progênes derivadas de uma população suscetível e uma resistente a abamectina, e o *fitness* destas foi de 0,50 e 0,53. Além disso, Guo *et al.* (2013) evidenciaram que a progênie sofreu efeitos transgeracionais, como o aumento no tempo de desenvolvimento e diminuição na fertilidade.

Para a população BEZ-R e BEZNS o *fitness* foi mais alto (0,87 e 0,74, respectivamente), pois tiveram taxas de desenvolvimento semelhantes, porém, estes resultados contrastam com os de Cao & Han (2006) onde uma população de *P. xylostella* que apresentou nível alto de resistência a tebufenozida e taxas de desenvolvimento semelhantes, mostrou um *fitness* de apenas 0,3 quando comparada com a suscetível. Contudo, foram evidentes as vantagens da população resistente sobre a população suscetível quando foi exposta à dose de campo na alimentação dos adultos, aumentando a longevidade das fêmeas e conseqüentemente seu período de oviposição, fecundidade e fertilidade. Estes resultados corroboram com os achados por Tiba (2008), onde casais que foram tratados com lufenurom apresentaram uma fecundidade maior, porém, contrastando com os resultados aqui apresentados, a viabilidade desses ovos foi reduzida. Já Romano (2007) observou que adultos de *S. frugiperda* tratados com iscas esterilizantes de lufenurom, obtiveram muitos ovos.

Estudos feitos com *P. xylostella* por Ribeiro *et al.* (2014) encontraram que fêmeas resistentes expostas a concentrações baixas do inseticida clorantraniliprole também apresentaram o período de oviposição significativamente maior do que as suscetíveis, porém, contrastando com os resultados do presente estudo, a fecundidade e fertilidade não foram significativamente diferentes. Tanto fêmeas como machos da população resistente quando expostos a dose de campo, aumentaram sua sobrevivência, ou seja, aumentam suas possibilidades de acasalamento, tempo de oviposição, fecundidade e fertilização da fêmea. Porém, quando se comparam esses mesmos parâmetros na ausência do inseticida, a longevidade, período de oviposição, fecundidade e fertilidade não ocorreram diferenças significativas entre a população suscetível e resistente. Esta vantagem possivelmente é devido a exposição contínua à qual a população foi submetida, que aumenta dessa forma seu *fitness*, quando comparado com uma população que não sofre exposição ao inseticida.

O manejo da resistência a inseticidas é dependente dos custos adaptativos, considerando o *fitness* reduzido das progênes na ausência da pressão de seleção, é importante que a rotação de inseticidas seja bem implementada como estratégia de manejo da resistência, o que permite a diminuição da evolução desse fenômeno, o que conseqüentemente levará a um decréscimo no número de alelos da resistência, prolongando a vida útil da molécula (Tabashnik & Croft. 1982).

Os resultados sugerem que: (i) não existe um *fitness* associado à resistência de *P. xylostella* a lufenurom; (ii) a resistência dessa espécie a lufenurom é estável e provavelmente recessiva; (iii) os heterozigotos possuem *fitness* menor do que seus parentais; (iv) populações resistentes ao lufenurom tem vantagem frente a populações suscetíveis na exposição à dose de campo. Contudo, estudos envolvendo perfil de resistência cruzada, estabilidade e o modelo da herança dessa resistência, ainda precisam ser esclarecidos para que haja maior sucesso no manejo dessa praga.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE pela concessão de bolsa ao primeiro autor, possibilitando a realização desta pesquisa.

Literatura Citada

- Abbott, W.S. 1925.** A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. J. Econ. Entomol. 18: 265-267.
- Andrei, E. 1999.** Compêndio de defensivos agrícolas: guia pratico de produtos fitossanitários para uso agrícola. 6 ed. Organização Andrei. São Paulo, 672p.
- APRD. 2018.** Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University.
- Barros, R. & J.D. Vendramim. 1999.** Efeito de cultivares de repolho, utilizadas para criação de *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), no desenvolvimento de *Trichogramma pretiosum* Riley (Hymenoptera: Trichogrammatidae). An. Soc. Entomol. Brasil 28: 469-476.

- Boivin, T., C.C. D'Hières, J.C. Bouvier, D. Beslay & B. Sauphanor. 2001.** Pleiotropy of insecticide resistance in the codling moth, *Cydia pomonella*. *Entomol Exp Appl.* 99: 381-386.
- Cao, G. & Z. Han. 2006.** Tebufenozide resistance selected in *Plutella xylostella* and its cross-resistance and *fitness* cost. *Pest Manag. Sci.*62: 746-751.
- Cohen, E. 1987.** Chitin Biochemistry: Synthesis and Inhibition. *Annu. Rev. Entomol.* 32: 71-93.
- Stefano, J.F. Fidler & G. Cumming. 2005.** Effect size estimates and confidence intervals: An alternative focus for the presentation and interpretation of ecological data, p. 71-102. In: A.R. Burk (ed). *New Trends in Ecology Research*. New York, 231p.
- FAO. 2013.** Directrices sobre la prevención y manejo de la resistencia a los plaguicidas. Italia, 59p.
- Finney, D.J. 1971.** Probit Analysis. London, Cambridge University, 333p.
- Gassmann, A.J., Y. Carrière & B.E. Tabashnik. 2008.** Fitness Costs of Insect Resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu. Rev. Entomol* 54: 147-163.
- Guo, L., N. Desneux, S. Sonoda, P. Liang, P. Han & X.-W. Gao. 2013.** Sublethal and transgenerational effects of chlorantraniliprole on biological traits of the diamondback moth, *Plutella xylostella* L. *Crop Prot.* 48: 29-34.
- Merzendorfer, H. 2006.** Insect chitin synthases: a review. *J. Comp. Physiol. B.* 176: 1-15.
- Mulder, R. & M.J. Gijswijt. 1973.** The laboratory evaluation of two promising new insecticides which interfere with cuticle deposition. *Pest. Sci.* 4: 737-745.
- Niu, Y., G.P. Head, P.A. Price & F. Huang. 2018.** Inheritance and fitness costs of Cry1A.105 resistance in two strains of *Spodoptera frugiperda* (J.E. Smith). *Crop Prot.* 110: 229-235.
- Pu, X., Y. Yang, S. Wu & Y. Wu. 2010.** Characterisation of abamectin resistance in a field-evolved multiresistant population of *Plutella xylostella*. *Pest Manag. Sci.* 66: 371-378.
- Ribeiro, L.M.S., V. Wanderley-Teixeira, H.N. Ferreira, Á.A.C. Teixeira & H.A.A. Siqueira. 2014.** Fitness costs associated with field-evolved resistance to chlorantraniliprole in *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae). *Bull. Entomol. Res.* 104: 88-96.
- Roush, R.T. & J.C. Daly. 1990.** The role of population genetics in resistance research and management. In R.T. Roush & B.E. Tabashnik, (eds.) *Pesticide Resistance in Arthropods*. Boston. Springer. 352p.
- Santos, V.C., H.A.A. Siqueira, J.E. Silva & M. Farias. 2011.** Insecticide resistance in populations of the diamondback moth, *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae), from the state of Pernambuco, Brazil. *Neotrop. Entomol.* 40: 264-270.

- SAS Institute 2001.** SAS user's guide: statistics, version 8.2. SAS Institute, Cary, NC computer program, version By SAS Institute.
- Shah, R.M., S.A. Shad & N. Abbas. 2017.** Methoxyfenozide resistance of the housefly, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae): cross-resistance patterns, stability and associated fitness costs. *Pest Manag. Sci.* 73: 254-261.
- Shen, J., D. Li, S. Zhang, X. Zhu, H. Wan & J. Li. 2017.** Fitness and inheritance of metaflumizone resistance in *Plutella xylostella*. *Pestic. Biochem. Physiol.* 139: 53-59.
- Software, L. 2005.** POLO-Plus, POLO for Windows Computer Program computer program, version 2.0. By Software, L.
- Steinbach, D., G. Moritz & R. Nauen. 2017.** Fitness costs and life table parameters of highly insecticide-resistant strains of *Plutella xylostella* (L.) (Lepidoptera: Plutellidae) at different temperatures. *Pest Manag. Sci.* 73: 1789-1797.
- Tabashnik, B.E & B.A. Croft. 1982.** Managing Pesticide Resistance in Crop-Arthropod Complexes: Interactions Between Biological and Operational Factors. *Environ Entomol.* 11: 1137-1144.
- Wang, R. & Y. Wu. 2014.** Dominant fitness costs of abamectin resistance in *Plutella xylostella*. *Pest Manag. Sci.* 70: 1872-1876.
- Yang, M., P. Zhang, L. Hu, R. Lu, W. Zhou, S. Zhang & H. Gao. 2014.** Ionic liquid-assisted liquid-phase microextraction based on the solidification of floating organic droplets combined with high performance liquid chromatography for the determination of benzoylurea insecticide in fruit juice. *J. Chromatogr. A* 1360: 47-56.
- Zalucki, M.P., A. Shabbir, R. Silva, D. Adamson, L. Shu-Sheng & M.J. Furlong. 2012.** Estimating the economic cost of one of the World's major insect pests, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Plutellidae): just how long is a piece of string? *J. Econ. Entomol.* 105: 1115-1129

Tabela 1. Suscetibilidade de populações de *Plutella xylostella* a Lufenurom após 96 h de exposição.

| População | N ¹ | χ^2 (GL) ² | Inclinação \pm EP ³ | CL ₅₀ (CI 95%) ⁴ | RR ₅₀ (IC95%) ⁵ |
|---------------------------|----------------|----------------------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|
| REC-S | 381 | 9,1 (11) | 1,23 \pm 0,07 | 0,71 (0,49 – 1) | 1 (0,60 – 1,65) |
| BEZ-R | 236 | 1,65 (5) | 4,19 \pm 0,93 | 870,5 (629,97– 1040,15) | 1224,26 (804,63– 1862,73) |
| ♀S x ♂R (F1) ⁶ | 358 | 14,33 (10) | 0,59 \pm 0,07 | 2,12 (0,68 – 4,92) | 2,98 (1,35 – 6,56) |
| ♀R x ♂S (F1) ⁶ | 355 | 15,34 (10) | 0,48 \pm 0,06 | 3,80 (0,98 – 10,23) | 7,62 (3,83 – 15,15) |
| BEZNS | 180 | 3,59 (4) | 2,190 \pm 0,28 | 479,37 (362,51– 629,25) | 674,19 (430,20 – 1056,56) |

¹Número total de insetos tratados;

²Teste de qui-quadrado e grau de liberdade ($P > 0,05$);

³Inclinação da curva e o erro padrão;

⁴Concentração letal (mg de i.a. lufenurom/L);

⁵Razão de resistência: razão da estimativa de CL₅₀ entre as populações resistente e suscetível calculada por meio do teste de razão letal (Robertson *et al.* 2007).

⁶Progênes resultantes dos cruzamentos recíprocos entre indivíduos das populações suscetível e resistente.

Tabela 2. Medianas (IC 95%) do período larval, período pupal, peso e viabilidade de pupas de *Plutella xylostella* suscetível, resistente a lufenurom e progênes resultantes dos cruzamentos recíprocos.

| Parâmetros ¹ | Populações e Cruzamentos | | | | |
|--------------------------------------|--------------------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------|
| | REC-S | BEZ-R | ♀R x ♂S (F1) ³ | ♀S x ♂R (F1) ³ | BEZNS |
| Período larval (dias) | 8 (8 - 8) a | 8,5 (8 - 9) b | 10 (9 - 10) d | 9 (9 - 10) d | 9 (9 - 9) c |
| Período pupal (dias) | 4 (4 - 4) b | 4 (4 - 4) b | 4 (3 - 4) b | 4 (4 - 4) a | 4 (3 - 4) b |
| Peso de pupa (mg) | 6,2 (5,7 – 6,6) b | 5,8 (5,6 – 6,2) a | 5,4 (5,0 – 6,3) b | 5,8 (5,3 – 6,1) b | 5,8 (5,5 – 6,1) b |
| Viabilidade de pupa (%) ² | 91,46 a | 90,9 a | 93,33 a | 90 a | 78,64 a |

¹Medianas (IC 95%) em linhas seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre as populações pelo teste de Kruskal-Wallis ($P > 0,05$).

²Médianas seguidas de mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre as populações ($P > 0,05$; Teste χ^2).

³Progênes resultantes dos cruzamentos recíprocos entre indivíduos das populações suscetível e resistente.

Tabela 3. Médias (\pm SE) (IC 95%) da razão sexual, longevidade, período de oviposição, fecundidade e porcentagem de eclosão das populações suscetível e resistente a lufenurom e progênes resultantes dos cruzamentos recíprocos.

| Parâmetros ¹ | População | | | | |
|------------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|-------------------------|
| | REC-S | BEZ-R | ♀R x ♂S (F1) ³ | ♀S x ♂R (F1') ³ | BEZNS |
| Longevidade (fêmea) | 10,90 (\pm 0,93) a | 13,18 (\pm 1,30) a | 12,81 (\pm 0,72) a | 11,90 (\pm 1,44) a | 10,54 (\pm 1,11) a |
| Longevidade (macho) | 14,27 (\pm 1,47) ab | 19,45 (\pm 1,31) a | 13,27(\pm 1,28) b | 10,09 (\pm 0,93) b | 13,36 (\pm 1,13) b |
| Período de oviposição (dias) | 8,63 (\pm 2,01) a | 9,36 (\pm 2,46) a | 9,09 (\pm 1,92) a | 7,18 (\pm 2,35) a | 7,27 (\pm 3,37) a |
| Fecundidade (no.) | 241,36 (\pm 14,05) ab | 213,8 (\pm 12,10) ab | 265,81(\pm 9,21) a | 205,09 (\pm 17,42) b | 188,45 (\pm 19,27) b |
| Fertilidade (%) | 153,09 (\pm 19,93) ab | 145,6 (\pm 6,34) ab | 175,27 (\pm 12,33) a | 120,9 (\pm 13,89) ab | 113,36 (\pm 17,32) b |
| Razão sexual ² | 58.66 a | 50 a | 48 a | 49 a | 53 a |

¹Médias (IC 95%) em linhas seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre as populações ($P > 0.05$; pelo teste de Tukey).

²Médias seguidas de mesma letra, na linha, não diferem significativamente entre as populações ($P > 0.05$; Teste χ^2).

³Progênes resultantes dos cruzamentos recíprocos entre indivíduos das populações suscetível e resistente.

Tabela 4. Parâmetros de crescimento populacional das populações suscetível e resistente a lufenurum e progênes resultantes dos cruzamentos recíprocos de *Plutella xylostella* a $25 \pm 1^\circ \text{C}$, UR $65 \pm 5\%$ e 12 h de fotoperíodo.

| Parâmetros ¹ | População | | | | |
|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| | REC-S | BEZ-R | ♀R x ♂S (F1) ² | ♀S x ♂R (F1) ² | BEZNS |
| R ₀ | 53,17 (46,21 – 60,13) a | 46,50 (40,63 – 52,37) ab | 28,19 (26,02 – 30,37) c | 34,06 (27,61 – 40,51) bc | 39,39 (30,27 – 48,52) ab |
| T (dias) | 16,39 (16,14 – 16,65) a | 17,50 (17,08 – 17,92) b | 18,44 (18,11 – 18,78) b | 17,82 (17,39 – 18,26) b | 18,83 (17,98 – 19,67) b |
| r _m | 0,24 (0,23 – 0,25) a | 0,21 (0,21 – 0,22) b | 0,18 (0,17 – 0,18) c | 0,19 (0,18 – 0,20) c | 0,19 (0,18 – 0,20) c |
| TD (dias) | 2,86 (2,74 – 2,97) a | 3,16 (3,03 – 3,28) b | 3,83 (3,76 – 3,90) c | 3,50 (3,31 – 3,68) c | 3,54 (3,30 – 3,78) c |
| λ | 1,27 (1,26 – 1,29) a | 1,24 (1,23 – 1,26) ab | 1,20 (1,19 – 1,20) c | 1,22 (1,21 – 1,23) b | 1,21 (1,20 – 1,23) b |
| <i>Fitness</i> | 1 | 0,87 | 0,52 | 0,64 | 0,74 |

Fitness = R₀(REC-S) / R₀() (Cao & Han 2006)

¹Médias (IC 95%) em linhas seguidas de mesma letra não diferem a significativamente entre as populações pelo método de sobreposição do intervalo de confiança de Jackknife (Maia et al., 2000)

²Progênes resultantes dos cruzamentos recíprocos entre indivíduos das populações suscetível e resistente.

R₀= Taxa líquida de reprodução

T= tempo médio entre gerações

r_m= Taxa intrínseca de crescimento.

TD= tempo de duplicação da população

λ= razão finita de aumento

Tabela 5. Médias (\pm SE) (IC 95%) longevidade, período de oviposição, fecundidade e fertilidade das populações suscetível e resistente a lufenurom com diferentes tratamentos de alimentação.

| Parâmetros ¹ | 0 mg de i.a./L | | 1 mg de i.a./L | | 50 mg de i.a./L | | 800 mg de i.a./L | |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | REC-S | BEZ-R | REC-S | BEZ-R | REC-S | BEZ-R | REC-S | BEZ-R |
| Longevidade (fêmea) | 6,6 (\pm 0,85)a | 7,1 (\pm 1,0)a | 9,8 (\pm 0,64)a | 9,3 (\pm 1,12) a | 8,7 (\pm 0,76) b | 11,8 (\pm 0,80)a | 5,1 (\pm 0,23) a | 5 (\pm 0,47) a |
| Longevidade (macho) | 4,40 (\pm 0,63) *b | 8,80 (\pm 1,32)a | 8,2 (\pm 0,94)a | 8,2 (\pm 0,94) a | 7,2 (\pm 0,84) a | 9,3 (\pm 1,05)a | 4,2 (\pm 0,38) a | 3,8 (\pm 0,29) a |
| Período de oviposição (dias) | 4,9 (\pm 1,79) a | 4,9 (\pm 3,03) a | 4,8 (\pm 2,34) a | 5,9 (\pm 2,88) a | 5 (\pm 2,16) b | 8,2 (\pm 1,54) a | 1,8 (\pm 1,31) a | 2,2 (\pm 1,39) a |
| Fecundidade | 95,3 (\pm 13,62)a | 142,6 (\pm 18,05)a | 69 (\pm 11,37)a | 99,6 (\pm 13,32)a | 70,5 (\pm 15,05) b | 127 (\pm 18,81)a | 23,9 (\pm 7,01) a | 42,9 (\pm 6,88) a |
| Fertilidade | 65,8 (\pm 9,49)a | 99,1 (\pm 14,07)a | 40,3 (\pm 10,67)a | 67,7 (\pm 9,95)a | 41,5 (\pm 11,19) b | 89,5 (\pm 13,51)a | 14,1 (\pm 4,74) a | 27,7 (\pm 4,64) a |

¹Médias (IC 95%) em linhas seguidas de mesma letra não diferem significativamente entre as populações ($P > 0.05$; pelo teste de Tukey).

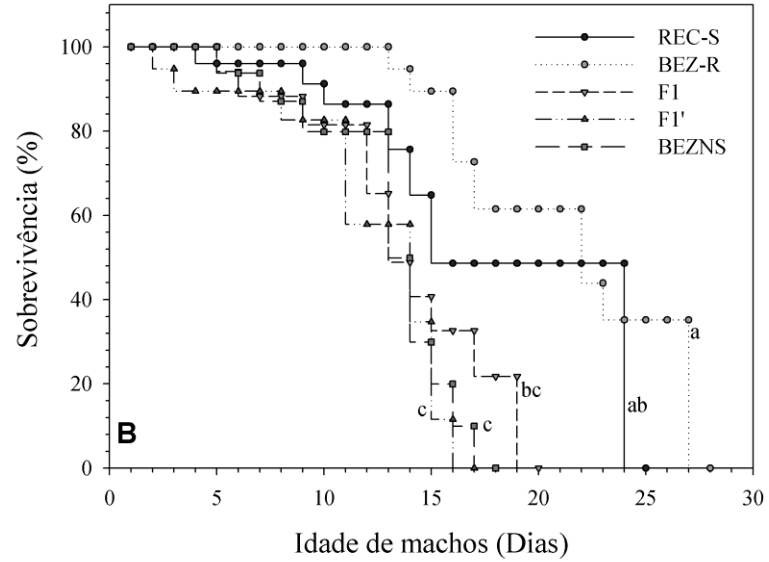
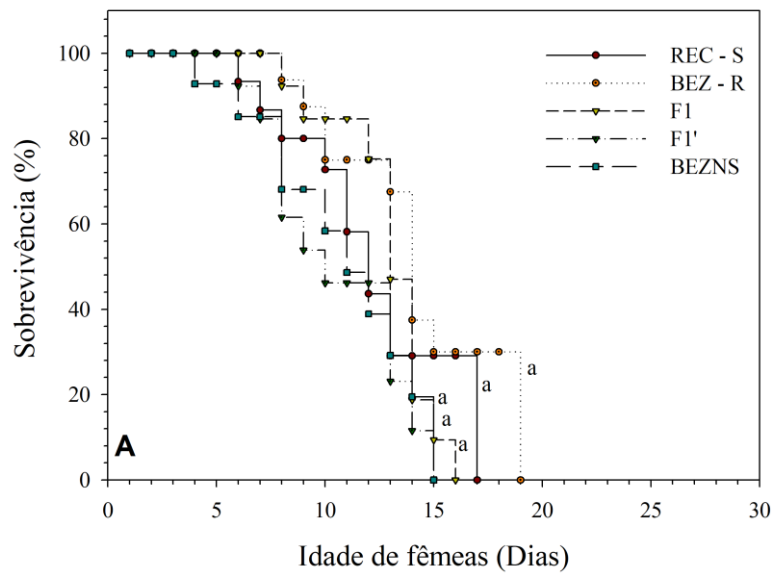


Figura 1 Sobrevivência (%) de adultos fêmeas (A) e machos (B) das populações suscetível (REC-S) e resistente (BEZ-R) a lufenurom, populações resultantes dos cruzamentos recíprocos F1 e F1' e população resistente sem pressão de seleção (BEZNS) por 4 gerações consecutivas. Letras diferentes indicam média significativa pelo teste de Log-rank ($P < 0,05$).

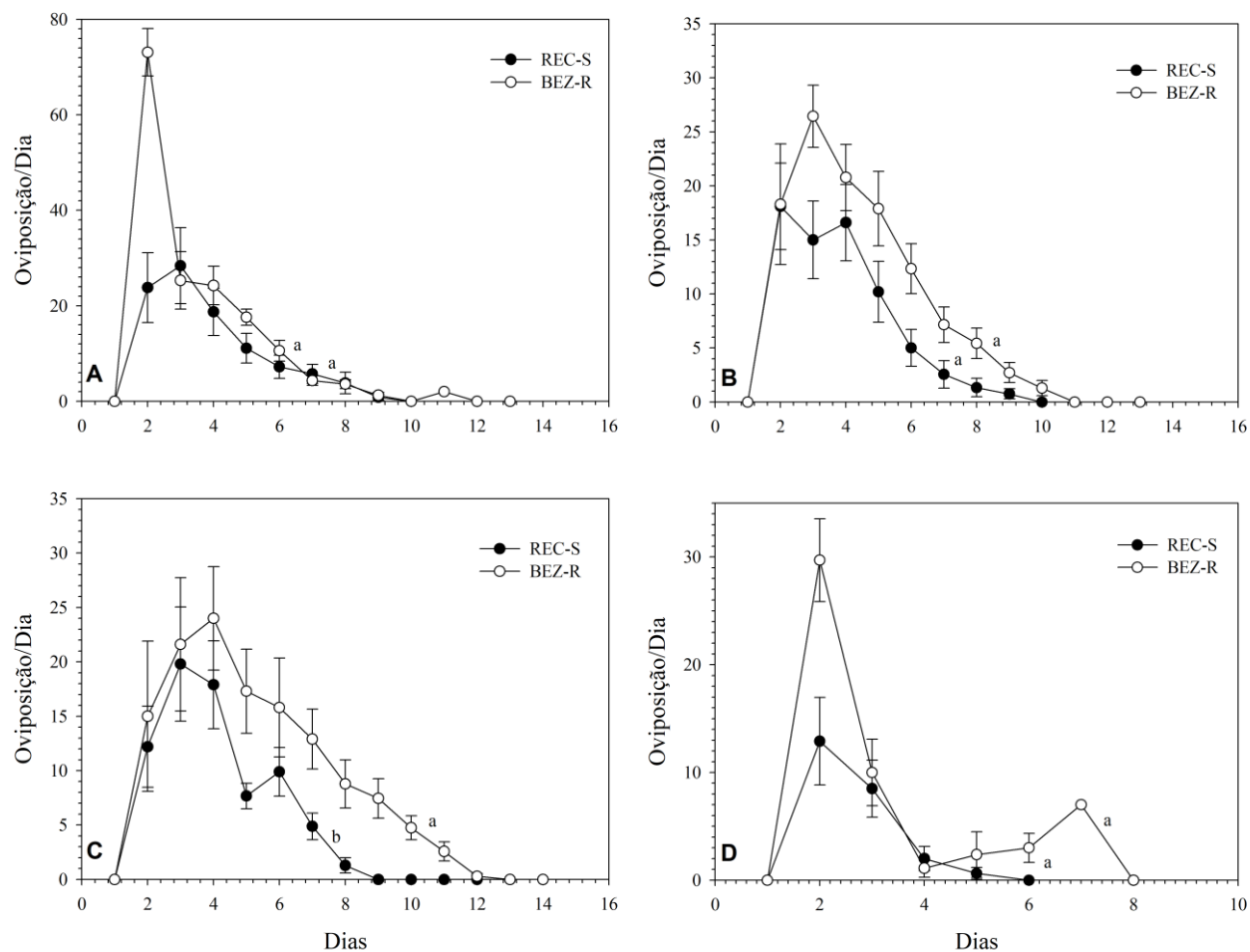


Figura 2. Média (\pm SE) (IC 95%) de oviposição diária de *Plutella xylostella* suscetível (REC-S) e resistente (BEZ-R) com alimentação de mel a 10% + (A) 0 mg de i.a. lufenurom/L, (B) 1 mg de i.a. lufenurom/L, (C) 50 mg de i.a. lufenurom/L e (D) 800 mg de i.a. lufenurom/L. Letras iguais não diferem significativamente entre as populações ($P > 0.05$; pelo teste de Tukey).

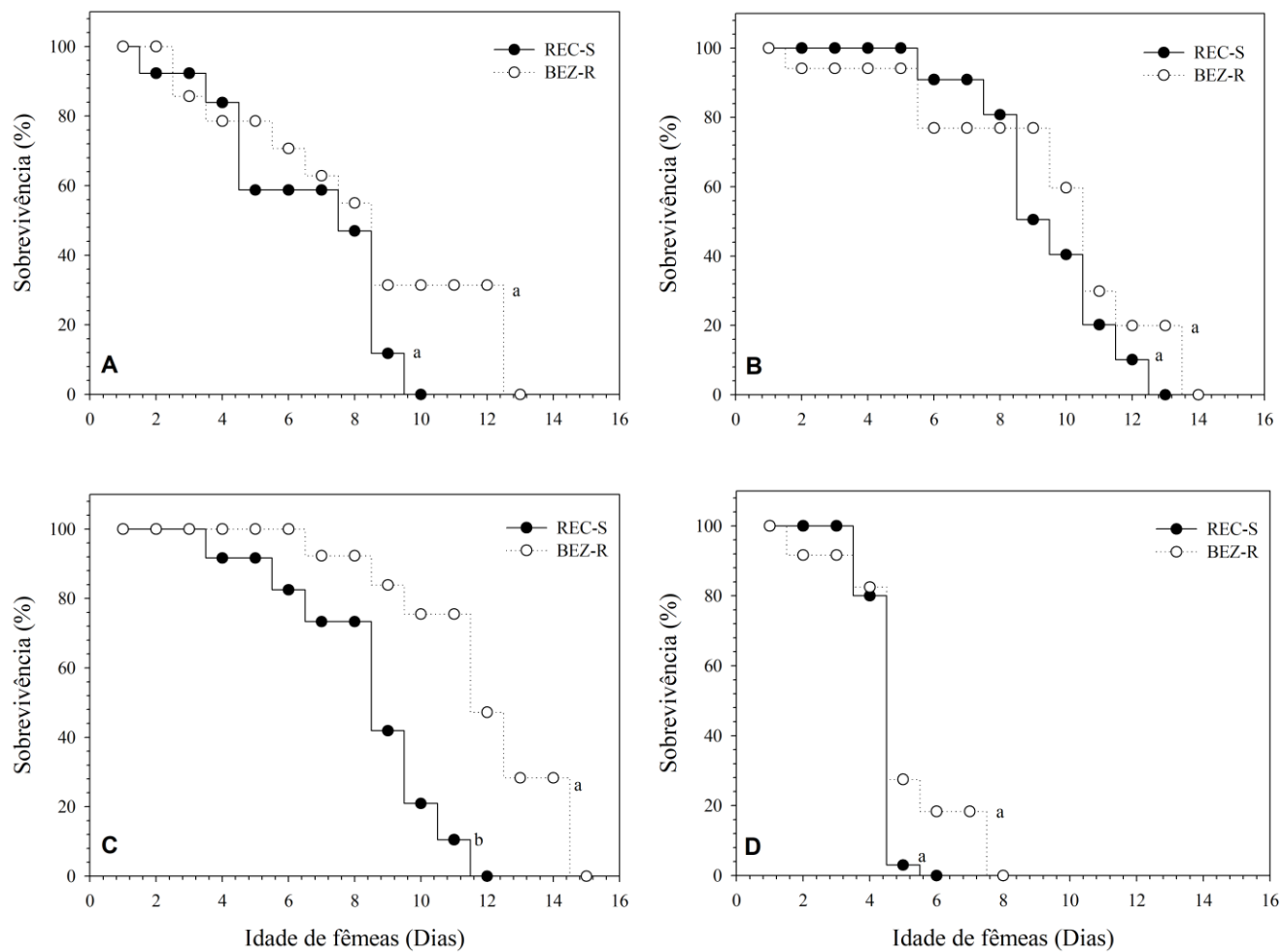


Figura 3. Sobrevivência (%) de adultos (fêmeas) de *Plutella xylostella* suscetível (REC-S) e resistente (BEZ-R) com alimentação de mel a 10% + (A) 0 mg de i.a. lufenurom/L, (B) 1 mg de i.a. lufenurom/L, (C) 50 mg de i.a. lufenurom/L e (D) 800 mg de i.a. lufenurom/L. Letras diferentes indicam média significante pelo teste de Log-rank ($P < 0,05$).

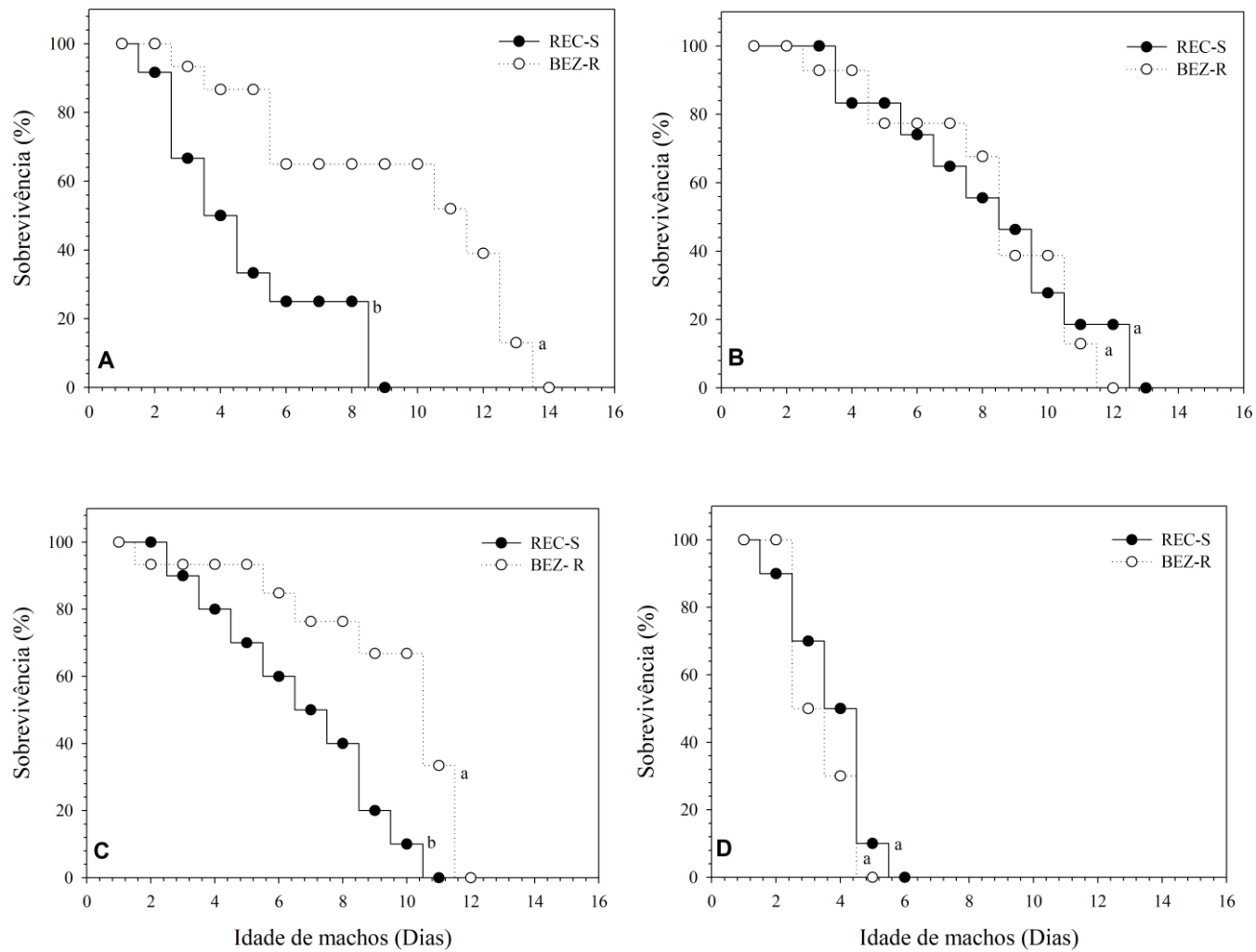


Figura 4. Sobrevivência de adultos (machos) de *P. xylostella* suscetível (REC-S) e resistente (BEZ-R) com alimentação de mel a 10% + (A) 0 mg de i.a. lufenurum/L, (B) 1 mg de i.a. lufenurum/L, (C) 50 mg de i.a. lufenurum/L e (D) 800 mg de i.a. lufenurum/L. Letras diferentes indicam média significante pelo teste de Log-rank ($P < 0,05$).

CAPÍTULO 3

Considerações Finais

Está claro que a resistência a inseticidas pode representar um risco tanto para a produtividade agrícola quanto para sociedade, sobretudo devido ao risco de intoxicações por altas doses devido ao uso indiscriminado destes compostos. Os IGRs são alternativas menos tóxicas, devido ao seu modo de ação específico. Contudo, a utilização de forma não rotacionada pode contribuir para a perda da eficiência destas moléculas. Os resultados aqui apresentados, expõem uma realidade ainda desconhecida frente ao uso de inseticidas como o lufenurom. Dessa forma, os custos adaptativos das progênes apresentadas, podem contribuir amplamente para um manejo da resistência mais adequado, assim como também a implementação de refúgio na área que apresenta algum nível de resistência a lufenurom, permitiria que os cruzamentos realizados em campo entre os parentais suscetível e resistente, aumente o número de heterozigotos recessivos que posteriormente poderiam ser tratados levando em consideração seu fitness reduzido e manejar fazendo rotação de inseticidas que não sejam do mesmo grupo, para isso é importante fazer estudos sobre resistência cruzada entre lufenurom e outros inseticidas. Um outro aspecto importante quando considerar o *fitness* é o impacto que a temperatura pode impor às populações em campo. Esta pode influenciar vários parâmetros da biologia da *Plutella xylostella*, portanto estudos similares, porém em diferentes condições de temperatura, poderá esclarecer tais questionamentos. Outro aspecto é a existência de ligação genica entre genes de resistência e genes associados com a osmoregulação da praga, em particular aqueles para condicionamento térmico. Sabe-se que a quitina sintase 1 (*chs1*) é o sítio de ação de benzoilureias, como uma enzima, sua atividade é influenciada pela temperatura. Assim, o fitness é também influenciado pela temperatura nos indivíduos resistentes em comparação aos

suscetíveis? Questões como estas ainda não se tem respostas, e que devem ser consideradas em futuros estudos para estabelecer em que condições de campo seria melhor uma intervenção por ataque múltiplo em um programa de manejo de resistência a estes inseticidas.