

## RESPOSTAS BIOLÓGICAS DE *Anagasta kuehniella* E DE SEU PARASITÓIDE, *Bracon hebetor*, À RADIAÇÃO POR MICROONDAS (2450 MHz)

Giovanna Garcia Fagundes<sup>1</sup>

Mohamed Habib<sup>2</sup>

Daniel Russ Solis<sup>3</sup>

### RESUMO

*Anagasta kuehniella* é convencionalmente controlada através de produtos químicos em moinhos e armazéns de trigo. Porém, devido a restrições na utilização destes, métodos de controle alternativos, como radiação por microondas e controle biológico, vêm sendo avaliados em termos de aplicabilidade e compatibilidade para a inserção em programas de manejo deste piralídeo. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos agudos e crônicos da radiação de microondas (2450 MHz) em *A. kuehniella* (ovos, larvas de terceiro e último estádios e adultos) e em adultos de seu ectoparasitóide, *Bracon hebetor*. Para tal, indivíduos de cada fase de desenvolvimento avaliada foram submetidos a tratamentos com radiação e a mortalidade foi avaliada após 24h da exposição para o cálculo do tempo de exposição letal mediano (TEL<sub>50</sub>). Baseado nos resultados obtidos observou-se um gradiente de sensibilidade nos diferentes estágios de desenvolvimento do piralídeo. Os adultos de *B. hebetor* apresentaram uma tolerância à radiação superior à observada para larvas e adultos da praga. A radiação provocou efeitos crônicos nos adultos de *A. kuehniella*, sobreviventes ao tratamento com microondas, como a diminuição da sua

---

<sup>1</sup> Doutoranda em Parasitologia, IB/UNICAMP. Caixa Postal. 6109 – CEP: 13083-970 – Campinas, SP. Bolsista FAPESP. E-mail: giovanna-garcia@ig.com.br

<sup>2</sup> Depto. de Zoologia – IB/UNICAMP

<sup>3</sup> Mestrando em Zoologia – UNESP/ Rio Claro.

capacidade reprodutiva e da longevidade. Os adultos de *B. hebetor* sobreviventes à aplicação de radiação por 106 segundos não sofreram alterações na sua capacidade de parasitismo. Todavia a longevidade dos machos sobreviventes ao tratamento foi reduzida. Desta forma, conclui-se que a radiação de microondas apresenta alto potencial como método a ser utilizado para o controle de *A. kuehniella*, principalmente em seu estágio larval.

**PALAVRAS-CHAVE:** controle físico, produtos armazenados, controle biológico

### ABSTRACT

#### **BIOLOGICAL RESPONSES OF *Anagasta kuehniella* AND ITS PARASITOID, *Bracon hebetor*, TO MICROWAVES RADIATION (2450 MHz)**

The Mediterranean flour moth, *Anagasta kuehniella*, is known as one of the most important pests of stored products. Due to the harmful effects of the chemical control methods, some radio-frequencies, such as microwaves, are being evaluated, aiming to establish IPM programs for the control of this pyralid species. The present study was undertaken to determine the comparative effect of microwaves (2450 MHz) on *A. kuehniella* eggs, larvae (third and last instars) and adults. Also, the tolerance of the parasitoid wasp, *Bracon hebetor*, was evaluated. Individuals of each stage were exposed to the radiation (2450 MHz) and after 24 hours of exposition, the mortality level obtained in each treatment was determined. Concerning *A. kuehniella*, the last instar larvae showed to be the most sensitive to radiation, followed by the third instar larvae and adults. Chronic effects of radiation resulted into reduced longevity and lower reproductive capacity among the treated adults. *B. hebetor* adults, on the other hand, did not suffer any alteration on its parasitism capacity. Pyralid eggs, as well as

the braconid wasp, showed to be highly resistant to microwaves. Therefore, radiation by microwaves can be considered as a promising method to be used in IPM programs of *A. kuehniella*, targeting mainly the larval stage.

**KEY WORDS:** physical control, stored products, biological control

## INTRODUÇÃO

*Anagasta kuehniella* Zeller, 1879 (Lepidoptera: Pyralidae), popularmente conhecida como traça-da-farinha-do-Mediterrâneo é praga-chave em moinhos de trigo, sendo responsável tanto por danos quantitativos quanto qualitativos em subprodutos como farinhas, farelo e gérmen. Além disso, também é responsável por danos operacionais, pois provoca o entupimento das tubulações dos moinhos devido ao acúmulo de grumos formados por secreções larvais e farinha (Habib, 1968; Amaral Filho, 1986). Este piralídeo é convencionalmente controlado por agentes químicos tóxicos, necessitando para tal de interrupções periódicas na produção, que por sua vez resultam em prejuízos financeiros. Restrições para o uso de agrotóxicos e a pressão do mercado consumidor por produtos isentos de contaminações químicas, vêm impulsionando o desenvolvimento de métodos alternativos de controle de pragas, como o biológico e o físico (Fields, 1992; Longstaff, 1994; Arthur, 1996; Halverson *et al.*, 1996; Lewis & Haverty, 1996). Programas de manejo integrado de pragas (MIP), utilizando uma combinação racional e específica de diversos métodos (de higiene e sanitário, biológicos, técnicos, biotecnológicos, físicos e químicos), podem ser aplicados para a proteção de produtos agrícolas em ambientes de armazenagem, minimizando os efeitos negativos decorrentes da utilização exclusiva de métodos químicos (Schöller *et al.*, 1997). A própria legislação brasileira já incorporou este conceito. No Regulamento Técnico sobre as “Condições Higiênico-Sanitárias e de Boas Práticas de

Fabricação para Estabelecimentos Produtores/ Industrializadores de Alimentos”, aprovado pela Portaria SVS/MS nº 326, de 30 de julho de 1997, há menção de que o controle de pragas nestes ambientes seja realizado prioritariamente através de programas abrangendo métodos preventivos, monitoramento e controle físico e biológico, enquanto a utilização de controle químico só deve ser feita em última instância (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 1997).

A adoção de MIPs para controle de pragas de produtos armazenados, utilizando parasitóides, vem apresentando bons resultados. Entre os agentes entomófagos de maior potencial destaca-se o ectoparasitóide larval idiobionte, *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae), o qual ataca várias espécies de piralídeos, inclusive *A. kuehniella*. Este braconídeo apresenta altos índices de parasitismo devido a sua excelente capacidade reprodutiva e de busca pelo hospedeiro. Suas fêmeas paralisam irreversivelmente as larvas hospedeiras, as quais mesmo não sendo posteriormente exploradas como sítio de oviposição, morrem dentro do prazo de 30 dias (Press *et al.*, 1982; Brower & Press, 1990; Serra, 1992). Tal comportamento eleva a importância da manutenção deste parasitóide em ecossistemas de armazenagem, já que desempenham papel importante na regulação populacional das pragas (Richards & Thomson, 1932; Stehr 1982; Cline *et al.*, 1984, Cline & Press, 1990). A aplicação de microondas (300 a 300.000 MHz) também tem sido avaliada como um método de controle físico para várias pragas de produtos armazenados (Nelson, 1987). Este método apresenta uma série de vantagens, quando comparado ao controle químico convencional, pois: não deixa resíduos nos produtos tratados; não desenvolve ou seleciona resistência nos insetos e é ambientalmente mais seguro. Além disso, os tratamentos com microondas não despendem muito tempo, pois podem causar a supressão dos insetos nos focos de infestação em poucos minutos. Uma vantagem adicional é a

multifuncionalidade do gerador de microondas, o qual pode ser também utilizado para a secagem de grãos e quebra de dormência de sementes. As microondas também são seguras para o operador, além de preservarem a qualidade dos produtos tratados (Webber *et al.*, 1946; Nelson, 1973; Copson, 1975; Hurlock *et al.*, 1979; Lambert, 1980; Nelson, 1987). Entretanto, sua inserção em programas de MIP depende de estudos prévios relativos à sensibilidade da espécie alvo e de uma análise de sua segurança e compatibilidade em relação aos inimigos naturais.

A sensibilidade à radiação de microondas é específica e relacionada a fatores físicos e biológicos. Características como o estágio de desenvolvimento, idade, formato do corpo, presença de apêndices e conteúdo de água, influenciam a capacidade do inseto alvo de absorver energia no campo eletromagnético gerado pela radiação, determinando sua resposta biológica à exposição (Headlee & Jobbins, 1938; Webber *et al.*, 1946; Nelson & Kantack, 1966; Rai *et al.*, 1972; Nelson, 1973; Nelson & Stetson, 1974; Watters, 1976; Hurlock *et al.*, 1979; Reagan *et al.*, 1980; Del Estal *et al.*, 1986; Locatelli & Traversa, 1989; Halverson *et al.*, 1996; Lewis & Haverty, 1996). Porém, a literatura enfoca basicamente os efeitos letais ocasionados pelos tratamentos com microondas em pragas, ignorando possíveis efeitos crônicos nos indivíduos sobreviventes às exposições, assim como praticamente inexistem estudos sobre o impacto da radiação em inimigos naturais.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o impacto da radiação de microondas (2450 MHz) sobre *Anagasta kuehniella* (ovos, larvas, adultos) e a tolerância de seu parasitóide, *Bracon hebetor*.

## MATERIAL E MÉTODOS

As criações de *A. kuehniella* e *B. hebetor* foram iniciadas a partir de material entomológico obtido em moinho de Campinas, SP, e mantidas em condições laboratoriais ( $25^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ ,  $60 \pm 10\%$  U.R. e 12 horas de fotofase). O piralídeo foi criado em dieta de farinha, farelo e gérmen de trigo (8:1:1), e o parasitóide em larvas hospedeiras obtidas desta criação matriz. Para avaliar o impacto agudo das microondas sobre diferentes estágios de desenvolvimento de *A. kuehniella* foram realizados bioensaios com ovos (24h de idade), larvas de terceiro e último estádios e adultos (24h). Para cada fase de desenvolvimento, 100 indivíduos, agrupados em 4 repetições, de 25 cada, foram colocados em placas de Petri (13cm x 1,7cm), as quais foram vedadas. Cada placa foi submetida a um tempo de exposição direta à radiação (tratamento), em forno de microondas Panasonic (NN 7954 BH/K, 2450 MHz). Exceção feita ao estágio de ovo, onde foram submetidos 100 indivíduos por repetição. Foram avaliados diferentes tempos de exposição às microondas (tratamentos) para cada estágio e a mortalidade dos indivíduos foi registrada após 24 horas da exposição. Os dados de mortalidade obtidos foram corrigidos através da equação de Abbott (1925), e, em seguida, aplicou-se a fórmula de Thompson (1947), adaptada por Habib (1986), para o cálculo do tempo de exposição letal mediano ( $TEL_{50}$ ) para cada estágio de desenvolvimento do piralídeo. O mesmo procedimento foi adotado para avaliar a tolerância de adultos de *B. hebetor* à radiação. Entretanto, em cada tratamento com radiação foram expostos 120 indivíduos, divididos em 4 repetições (30 indivíduos/repetição). Para avaliação dos efeitos crônicos da radiação nos sobreviventes à exposição, 100 indivíduos adultos de *A. kuehniella* foram submetidos a tratamento com radiação, divididos em 4 repetições. Os tempos de exposição utilizados foram: 20, 25, 29 e 36 segundos. Os sobreviventes de cada repetição foram transferidos para frascos de

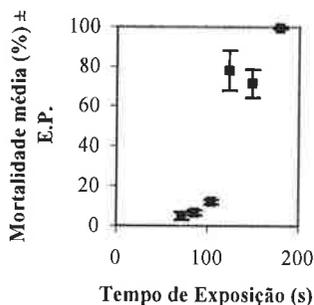
vidro(18,0 X 7,5cm), vedados com tule preso com elástico, onde foram acompanhados diariamente até sua morte. Destes obteve-se, para cada tratamento e para o grupo testemunha (não irradiado), o número médio de ovos por fêmea e a longevidade para ambos os sexos. Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância e teste de Tukey ( $P<0,05$ ). No caso de *B. hebetor*, adultos recém emergidos (0 a 24h) foram submetidos à exposição à radiação de microondas por 106 segundos (30 indivíduos/repetição; 4 repetições). A partir dos adultos sobreviventes montaram-se 10 casais, os quais foram individualizados em placas de Petri (8,5cm). Foram separados 10 casais (0 a 24h de idade) da criação geral do braconídeo como grupo testemunha (não tratado com radiação). A cada 24h, tanto o grupo tratado, quanto a testemunha, eram transferidos para uma nova placa com 5 larvas de último estágio de *A. kuehniella* e uma gotícula de mel. Diariamente, as placas de onde se retiraram os braconídeos foram avaliadas para análise do número de larvas paralisadas, parasitadas e o número de ovos por fêmea. Posteriormente, eram numeradas e levadas para a sala de criação, onde permaneciam até a total emergência da primeira geração (F1), cujos parâmetros biológicos analisados foram a viabilidade dos estágios imaturos e a razão sexual. Os casais foram acompanhados até a sua morte para avaliação comparativa de sua longevidade. Os dados obtidos foram comparados pelo teste *t* de Student.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

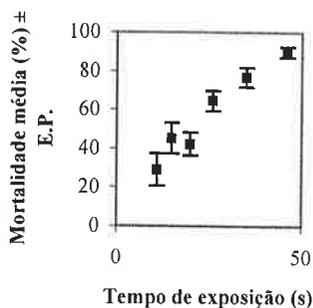
A mortalidade de *A. kuehniella*, obtida nos 4 estágios de desenvolvimento avaliados, está diretamente relacionada ao tempo de exposição à radiação de microondas (Figura 1). O mesmo fenômeno foi constatado em relação aos adultos de *B. hebetor*, embora num patamar superior de tempos de exposição (Figura 2).

As microondas podem causar dois tipos de efeitos diferentes em materiais biológicos: o térmico, que ocorre quando a energia das microondas é convertida em calor, provocando o aquecimento, e o não-térmico, responsável por danos moleculares e, conseqüentemente, por distúrbios metabólicos e funcionais ao nível celular (Lambert, 1980). Ambos são responsáveis pela mortalidade dos indivíduos expostos. O aumento no tempo de exposição ao campo eletromagnético provavelmente gera maior aquecimento corpóreo nos indivíduos, provocando alterações como desnaturação protéica, e conseqüentemente aumento dos níveis de mortalidade.

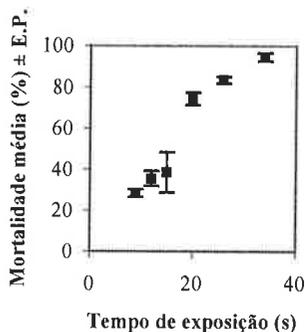
A sensibilidade de *A. kuehniella* a microondas variou entre os estágios de desenvolvimento avaliados. Através da análise dos valores do tempo de exposição letal mediano ( $TEL_{50}$ ) obtidos, podem-se observar dois níveis de sensibilidade nesta espécie (Tabela 1). O estágio larval (Figura 1, B e C), mostrou-se bastante sensível a tratamentos com a radiação, não havendo diferença significativa entre os dois estádios avaliados ( $TEL_{50}= 14,36s$  e  $TEL_{50}= 18,56s$ , para larvas de último e terceiro estágio, respectivamente). Os adultos também são bastante sensíveis à radiação, sendo que sua  $TEL_{50}$  não diferiu estatisticamente da obtida para larvas de terceiro estágio.



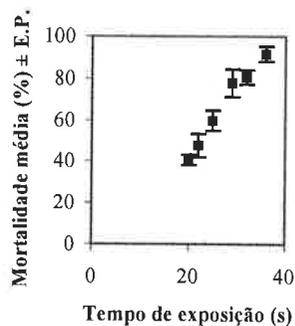
(A) Ovos



(B) Larvas de terceiro estágio



(C) Larvas de último estágio

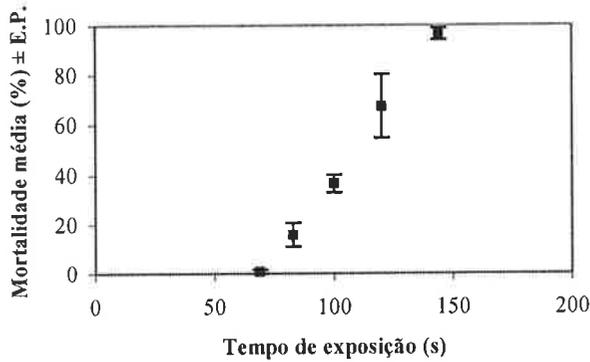


(D) Adultos

**Figura 1.** Mortalidade ( $\pm$  E.P.) em quatro estágios de desenvolvimento de *Anagasta kuehniella* expostos à radiação de microondas (2450 MHz).

Constatou-se que exposições de um minuto às microondas resultam em mortalidade total em ambos os estágios tratados. Já o estágio de ovo (Figura 1, A) mostrou-se o menos sensível às microondas ( $TEL_{50} = 122,18s$ ), sendo que foram necessárias exposições acima de 3 minutos para a obtenção da mortalidade total da amostra.

Os adultos de *B. hebetor* foram tolerantes à radiação (TEL<sub>50</sub>= 106,57s) quando comparados aos estágios larval e adulto do seu hospedeiro, *A. kuehniella*. Todavia, sua TEL<sub>50</sub> não diferiu da obtida para os ovos do piralídeo (Tabela 1).



**Figura 2.** Mortalidade ( $\pm$  E.P.) em adultos de *Bracon hebetor* expostos à radiação de microondas (2450 MHz).

Estas diferenças intra e inter-específicas na sensibilidade e na tolerância dos indivíduos ao tratamento com microondas devem-se a fatores que variam tanto em função da espécie avaliada, como em função de características de cada estágio de desenvolvimento dos insetos estudados. Entre aquelas de maior importância, destacam-se: constante dielétrica, conteúdo de água, tamanho, pigmentação, formato, presença ou ausência de apêndices locomotores e interações com o meio hospedeiro (Webber *et al.*, 1946; Frings, 1952; Nelson & Kantack, 1966; Nelson, 1973).

**Tabela 1.** Valores dos tempos de exposição letal mediana (TEL<sub>50</sub>) para *Anagasta kuehniella* e *Bracon hebetor* tratados com radiação de microondas (2450 MHz).

Espécie tratada	Estágio de Desenvolvimento	Equação	TEL <sub>50</sub> (s)	Intervalo de Confiança (P>95%)
<b>A.</b> <i>kuehniell</i> <i>a</i>	Larvas de último estágio	$Y = 0,64681 + 3,76163 * \log x$	14,3 6	12,51 a 16,49
	Larvas de 3 <sup>o</sup> estágio	$Y = 1,53317 + 2,73292 * \log x$	18,5 6	15,34 a 22,45
	Adultos	$Y = -3,31519 + 6,17393 * \log x$	22,3 4	21,08 a 23,68
	Ovos	$Y = -19,07662 + 11,53654 * \log x$	122, 18	105,95 a 140,90
<b>B.</b> <i>hebetor</i>	Adultos	$Y = -17,98395 + 11,34973 * \log x$	105, 94	99,29 a 113,04

Gradientes de sensibilidade, como os obtidos neste trabalho, também foram relatados por Nelson & Kantack (1966) para *Tenebroides mauritanicus* (L.) (Coleoptera), sendo que nesta espécie as larvas também são mais sensíveis ao tratamento por microondas que os adultos. Baker *et al.* (1956) trataram *Tribolium confusum* Duv. (Coleoptera: Tenebrionidae) em farinha de trigo com microondas (2450 MHz) e observaram que os ovos são mais tolerantes à radiação que larvas e adultos. Reagan *et al.* (1980), avaliaram a sensibilidade de diferentes estágios de desenvolvimento de *Tineola baselliella* (Lepidoptera, Tineidae) às microondas e revelaram que o estágio de ovo é o mais resistente ao tratamento. Tais resultados são coerentes com os obtidos neste trabalho. Entretanto, esta espécie de tineídeo

parece ser mais resistente à radiação que *A. kuehniella*, pois foram necessárias exposições por tempos até 3 vezes maiores para se obter o mesmo nível de mortalidade do piralídeo obtido neste presente trabalho. Locatelli & Traversa (1989) avaliaram as microondas e a associação destas com o aquecimento convencional para o controle de infestações das pragas mais comuns em arroz já ensacado, incluindo duas espécies de mariposas, *Corcyra cephalonica* e *Plodia interpunctella*. Foi possível observar que tratamentos de 2 minutos e 15 segundos foram suficientes para a obtenção de mais de 90% de mortalidade em todos os estágios de desenvolvimento das pragas, o que é muito semelhante aos dados obtidos neste trabalho.

Em relação ao impacto das microondas na capacidade reprodutiva de fêmeas de *A. kuehniella* sobreviventes ao tratamento, observou-se que a radiação provoca efeitos crônicos que reduzem expressivamente o potencial reprodutivo do piralídeo. Foram observadas diferenças significativas no número médio de ovos por fêmea entre as fêmeas não tratadas e os diversos tratamentos com microondas ( $F= 27,889$ ;  $P< 0,05$ ) (Tabela 2). As fêmeas não irradiadas apresentaram um número médio de ovos bastante superior aos obtidos nos diversos tratamentos. Foi possível observar uma relação inversa entre o tempo de exposição e a capacidade reprodutiva ( $R^2 = 0,78$ ). Em geral, os tratamentos com a radiação produziram efeitos crônicos que levaram a uma redução em pelo menos 50% no número de ovos obtidos, quando comparado ao obtido para o grupo testemunha.

Tais resultados coincidem com os obtidos por Whitney *et al.* (1961 *apud* Nelson, 1973). Estes observaram que adultos de *Tribolium confusum* e *Sitophilus oryzae* (Coleoptera), sobreviventes de exposições a frequências de rádio (39 MHz), eram capazes de continuar se reproduzindo. No entanto, os tratamentos mais severos interferiram na capacidade reprodutiva, diminuindo a progênie de ambas as espécies. Nelson (1973) também relata que algumas espécies de brocas de grãos têm a capacidade reprodutiva dos

sobreviventes prejudicada quando submetidas a tratamentos de frequências de rádio que causam mais de 50% de mortalidade. Tal fato pode estar relacionado ao modo de ação das microondas, que tem grande poder de penetração em tecidos vivos, atingindo mais drasticamente as gônadas (Lambert, 1980).

A viabilidade dos ovos postos por fêmeas sobreviventes aos tratamentos com diferentes tempos de radiação de microondas não diferiu significativamente ( $F= 1,467$ ;  $P= 0,248$ ) (Tabela 2). O mesmo observou-se na comparação entre os ovos das fêmeas tratadas e os obtidos a partir da testemunha. Tal fato leva-nos a crer que a radiação não interfere na capacidade de eclosão das larvas. Todavia, os tratamentos por microondas afetaram negativamente a longevidade dos adultos sobreviventes ( $F=10,135$ ,  $P<0,05$  e  $F= 46,523$ ,  $P< 0,05$ , para fêmeas e machos, respectivamente) (Tabela 3). Em relação às fêmeas sobreviventes foi possível verificar uma relação inversa entre o tempo de exposição e a longevidade. Já no caso dos machos, a longevidade não diferiu significativamente entre os tratamentos com radiação, mas foi significativamente inferior à obtida para o grupo testemunha. Desta forma, observou-se que mesmo tratamentos em tempos abaixo da  $TEL_{50}$  já foram suficientes para produzir alterações marcantes nos sobreviventes.

**Tabela 2.** Número médio de ovos postos por fêmea e viabilidade das oviposições de *Anagasta kuehniella*, sobreviventes a tratamento de exposição a microondas (2450 MHz).

Tempo de exposição (s)	Nº de fêmeas tratadas	Nº de fêmeas sobreviventes	N médio de ovos / fêmea ± D.P.	Viabilidade média dos ovos (%) ± D.P.**
0	29	29	222,70 ± 34,63 a	92,70 ± 1,38 a
20	51	47	67,82 ± 14,56 b	95,26 ± 3,17 a
25	52	22	70,28 ± 46,19 bc	91,14 ± 2,49 a
29	52	18	39,51 ± 25,85 bcd	57,09 ± 46,30 a
36	46	15	2,64 ± 4,54 d	76,45 ± 27,31 a

\* médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ )

\*\* os dados foram transformados para  $\sqrt{\text{arcsen}}$  para a análise comparativa.

Os adultos de *A. kuehniella* apresentaram alterações comportamentais durante o tratamento. Durante o processo de irradiação apresentaram uma intensificação progressiva no batimento de asas, além de movimentação intensa e não direcionada / aleatória pela superfície da placa de Petri, possivelmente na tentativa de dissipar o calor recebido através do campo eletromagnético. Posteriormente, devido ao impacto do tratamento na junção dos apêndices locomotores com o corpo do inseto (Frings, 1952;

Nelson, 1973) os adultos perderam a capacidade de permanecerem em pé (“knockdown”). Também foi observada a diminuição da intensidade de batimento de asas. Muitos dos indivíduos tratados perderam a capacidade de andar, principalmente após o tratamento em tempos superiores a 25 segundos, permanecendo praticamente imóveis até a sua morte. O estresse provocado pelo aquecimento levou algumas fêmeas a colocarem ovos precocemente na placa durante o processo de irradiação.

**Tabela 3.** Médias da longevidade (em dias) de adultos de *Anagasta kuehniella* sobreviventes de tratamentos com radiação de microondas (2450 MHz).

Tempo de exposição (s)	Longevidade média $\pm$ D.P.	
	Fêmeas	Machos
0 s	6,79 $\pm$ 1,05 a	13,89 $\pm$ 3,34 a
20 s	5,07 $\pm$ 3,64 ab	4,90 $\pm$ 5,15 b
25 s	4,86 $\pm$ 3,34 abc	3,00 $\pm$ 2,70 b
29 s	2,72 $\pm$ 3,20 cd	3,90 $\pm$ 4,58 b
36 s	1,67 $\pm$ 1,23 d	2,00 $\pm$ 1,16 b

\*Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey ( $P < 0,05\%$ ).

As microondas, entretanto, não provocaram efeitos crônicos sobre a capacidade reprodutiva de adultos de *B. hebetor* sobreviventes ao tratamento em tempo equivalente a TEL<sub>50</sub> (106 segundos) (Tabela 4). O

número médio de larvas paralisadas ( $t = 0,867$ ,  $P = 0,408$ , 9 gl), parasitadas ( $t = 1,426$ ,  $P = 0,188$ , 9 gl) e o número de ovos por fêmea ( $t = 1,148$ ,  $P = 0,281$ , 9 gl) foram equivalentes entre o grupo não irradiado e aquele tratado com a radiação. O mesmo se observou em relação à progênie obtida a partir destes braconídeos. Tanto a viabilidade dos estágios imaturos ( $t = 0,220$ ,  $P = 0,831$ , 9 gl) quanto a razão sexual não demonstraram alterações negativas. Todavia, em relação à longevidade dos adultos, observou-se que a radiação provocou efeitos negativos ( $t = 2,932$ ,  $P = 0,017$ , 9 gl), diminuindo a longevidade dos machos de *B. hebetor* quando comparados ao grupo não irradiado. A maior sensibilidade dos machos pode estar relacionado com menor conteúdo de lipídeos e, proporcionalmente, maior quantidade de água, em comparação com as fêmeas, o que propicia maior impacto térmico. Não houve, por outro lado, diferença significativa na longevidade entre fêmeas irradiadas e não irradiadas ( $t = 0,154$ ,  $p = 0,881$ , 9 G.L.).

**Tabela 4.** Capacidade reprodutiva e longevidade de adultos de *Bracon hebetor* sobreviventes de exposição à radiação de microondas (2450 MHz) por tempo equivalente a sua TEL<sub>50</sub> (106 segundos)\*.

Parâmetro	Não irradiados	Irradiados
Número de casais observados	10	10
Número total de larvas hospedeiras oferecidas/ grupo	1212	1132
Número médio de ovos/ fêmea (média ± D.P.)	232,10 ± 78,80 <i>a</i>	186,40 ± 79,97 <i>a</i>
Número de larvas paralisadas/ fêmea (média ± D.P.).	89,70 ± 18,64 <i>a</i>	81,40 ± 22,60 <i>a</i>
Número de larvas parasitadas/ fêmea (média ± D.P.).	50,00 ± 15,34 <i>a</i>	40,70 ± 15,38 <i>a</i>
Longevidade(média ± D.P.) em dias		
Machos	41,20 ± 10,76 <i>a</i>	25,50 ± 10,81 <i>a</i>
Fêmeas	22,70 ± 7,12 <i>a</i>	12,04 <i>b</i> 22,00 ± 10,81 <i>a</i>
Viabilidade dos estágios imaturos da F1 (média ± D.P.)**	48,83 ± 16,78% <i>a</i>	47,09 ± 9,33% <i>a</i>
Razão sexual da F1	0.51	0.52

\* Médias seguidas pela mesma letra não apresentam diferença significativa pelo teste *t* de Student (P<0,05%)

\*\* os dados foram transformados para  $\sqrt{\arcsen}$ , para a análise comparativa.

Sendo assim, o uso da radiação de microondas para o controle de *A. kuehniella*, nas condições avaliadas, apresenta alto potencial, pois curtos tempos de exposição (até um minuto) podem controlar os estágios larval e adulto, além de praticamente esterilizar adultos que eventualmente sobrevivam ao tratamento, sem alterar as propriedades organolépticas (sabor e aroma) de subprodutos do trigo (Diaz, 1982).

Uma estratégia para contornar a relativa tolerância do estágio de ovo do piralídeo à radiação, poderia incluir um novo tratamento no produto após 7 dias, pois este período seria suficiente para que houvesse a eclosão das larvas, as quais são bastante sensíveis ao tratamento.

Em relação ao parasitóide, *B. hebetor*, a radiação não provocou efeitos negativos diretos que afetassem seu papel como inimigo natural.

A presença destes parasitóides em ambientes de armazenagem é natural, ocorrendo pela introdução conjunta com o hospedeiro a partir do recebimento de material infestado. Apesar de sua eficiência como agente de controle, não é viável a utilização de técnicas de inundação ou colonização massal em moinhos, uma vez que os subprodutos do trigo (farinhas, gérmem, farelos) seriam contaminados com um número elevado de partículas deste inseto, ficando fora dos padrões estabelecidos e tornando-se inviável para o consumo (Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 1994). Porém, a manutenção deste braconídeo, em baixas densidades, é importante para o controle de infestações residuais, principalmente devido à capacidade de procura pelo hospedeiro, o qual pode abrigar-se em locais inacessíveis a outros métodos de controle. Já no caso de armazenagem de sementes, há tolerância para altas densidades de parasitóides, como *B. hebetor*. Todavia, a capacidade de penetração deste braconídeo na massa dessas sementes é limitada, e seu crescimento populacional é dependente da densidade do hospedeiro. Assim sendo, tanto para farinha como para sementes de trigo, o

uso de microondas seria bastante oportuno para impedir a expansão da infestação por este piralídeo.

Desta forma, a tolerância de *B. hebetor* às microondas confere um grau de compatibilidade entre eles, que torna possível sua associação em programas de manejo integrado de *A. kuehniella*. Um programa de MIP deve ainda englobar outras técnicas, principalmente as preventivas. Porém, novas avaliações devem ser conduzidas para a análise da viabilidade do uso de microondas para o controle do piralídeo em pauta, já que características do ambiente e do alimento do inseto (granulometria, umidade, etc) são bastante importantes para a otimização do programa de MIP. Além disso, outros métodos físicos como ar quente, vácuo parcial e aquecimento convencional podem vir a ser associados às microondas, aumentando sua eficiência (Hurlock 1979; Tilton & Vardell 1982 a, b; Locatelli & Traversa, 1989).

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBOTT, W.S., 1925. A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide. **Journal of Economic Entomology**, **18**:265–267.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Portaria nº74/MS/SNVS, de 4 de agosto de 1994, DOU 05.08.94. Brasília, 1994. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/74\\_94.pdf](http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/74_94.pdf)>. Acesso em: 27 de julho de 2002.
- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Portaria SVS/MS nº 326, de 30 de julho de 1997, D.O. de 01/08/97. Brasília, 1997. Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/326\\_97.htm](http://www.anvisa.gov.br/legis/portarias/326_97.htm)>. Acesso em: 27 de julho de 2002.

- AMARAL FILHO, B.F., 1986. Estudos Biológicos e Patológicos de Dois Piralídeos Pragas de Produtos Armazenados. Campinas. 167p. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas.
- ARTHUR, F.H., 1996. Grain Protectants: Current Status and Prospects for the Future. **J. St. Prod. Res.**, **32**:293-302.
- BAKER, V.H.; WIANT, D.E.; TABOADA, O., 1956. Some Effects of Microwaves on Certain Insects which Infest Wheat and Flour. **J. Econ. Entom.**, **49**:33-37.
- BROWER, J.H.; PRESS, J.W., 1990. Interaction of *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) and *Trichogramma pretiosum* (Hymenoptera: Trichogrammatidae) in Suppressing Stored-Product Moth Populations in Small Inshell Peanut Storages. **J. Econ. Entom.**, **83**:1096-1101.
- CLINE, L.D.; PRESS, J.W., 1990. Reduction in Almond Moth (Lepidoptera: Pyralidae) Infestations Using Commercial Packaging of Foods in Combination with the Parasitic Wasp, *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). **J. Econ. Entom.**, **83**:1110-1113.
- CLINE, L.D.; PRESS, J.W.; FLAHERTY, B.R., 1984. Preventing the Spread of the Almond Moth (Lepidoptera: Pyralidae) from Infested Food Debris to Adjacent Uninfested Packages, Using the Parasite *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae). **J. Econ. Entom.**, **77**:331-333.
- COPSON, D.A. 1975. **Microwave Heating**. 2.ed. Westport: Avi Publishing Co. 615p.
- DEL ESTAL, P.; VINÜELA, E.; PAGE, E.; CAMACHO, C., 1986. Lethal Effects of Microwaves on *Ceratitis capitata* Weed (Dipt., Trypetidae). **J. Applied Entomol.**, **102**:245-253.

- DIAZ, N.M. 1982. Efeito do Processamento Convencional e do Tratamento Térmico por Microondas sobre o Teor de Nutrientes e Qualidade Tecnológica do Pão. Campinas, 261p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas.
- FIELDS, P.G. 1992. The Control of Stored-Product Insects and Mites with Extreme Temperatures. **J. St. Prod. Res.**, **28**:89-118.
- FRINGS, H., 1952. Factors Determining the Effects of Radio-Frequency Electromagnetic Fields on Insects and Materials they Infest. **J. Econ. Entom.**, **45**:396-408.
- HABIB, M.E.M., 1968. Histopathological Studies on the Effect of *Bacillus thuringiensis* Berliner, on the Mediterranean Flour Moth, *Anagasta kuehniella* Zeller. Alexandria, 172p. Dissertação (Mestrado) - University of Alexandria.
- HABIB, M.E.M. 1986. Padronização de Inseticidas Microbianos. In: ALVES, S.B. (Coord.) **Controle Microbiano de Insetos**. São Paulo: Ed. Manole, p.127-170.
- HALVERSON, S.L.; BURKHOLDER, W.E.; BIGELOW, T.S.; NORDHEIM, E.V.; MISENHEIMER, M.E., 1996. High-Power Microwave Radiation as an Alternative Insect Control Method for Stored Products. **J. Econ. Entom.**, **89**:1638-1648,
- HEADLEE, T.J. & JOBBINS, D.M., 1938. Progress to Date on Studies of Radiowaves in Insect Control. **J. Econ. Entom.**, **29**:181-187.
- HURLOCK, E.T.; LLEWELLING, B.E.; STABLES, L.M., 1979. Microwave Can Kill Insect Pests. **Food Manufacture**, **54**:37-38.
- LAMBERT, J.P., 1980. Biological Hazards of Microwave Radiation. **J. Food Protect.**, **43**:625-628.
- LEWIS, V.R.; HAVERTY, M.I., 1996. Evaluation of Six Techniques for Control of the Western Drywood Termite (Isoptera: Kalotermitidae) in Structures. **J. Econ. Entom.**, **89**:922-932.

- LOCATELLI, D.P.; TRAVERSA, S., 1989. Microwaves in the Control of Rice Infestations. **Italian J. Food Sci.**, 2:53-62.
- LONGSTAFF, B.C., 1994. The Management of Stored Product Pests by Non-Chemical Means: an Australian Perspective. **J. St. Prod. Res.**, 30:179-185.
- NELSON, S.O., 1973. Insect-Control with Microwaves and other Radio Frequency Energy. **Bull. Entomol. Soc. Am.**, 19:157-163.
- NELSON, S.O., 1987. Potential Agricultural Applications for RF and Microwave Energy. **Trans. Am. Soc. Agric. Eng.**, 30:818-822.
- NELSON, S.O.; KANTACK, B.H., 1966. Stored-Grain Insect Control Studies with Radio-Frequency Energy. **J. Econ. Entom.**, 59:588-594.
- NELSON, S.O.; STETSON, L.E., 1974. Comparative Effectiveness of 39- and 2450-MHz Electric Fields for Control F Rice Weevils in Wheat. **J. Econ. Entom.**, 67:592-595.
- PRESS, J.W.; CLINE, L.D.; FLAHERTY, B.R., 1982. A Comparison of Two Parasitoids, *Bracon hebetor* (Hymenoptera: Braconidae) and *Venturia canescens* (Hymenoptera: Ichneumonidae) and a Predator, *Xylocoris flavipes* (Hemiptera: Anthocoridae) in supressing Residual Populations of the Almond Moth, *Ephestia cautella* (Lepidoptera: Pyralidae). **J. Kansas Entomol. Soc.**, 55:725-728.
- RAI, P.S.; BALL, H.J.; NELSON, S.O.; STETSON, L.E., 1972. Lethal Effects of Radio Frequency Energy on Eggs of *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae). **Ann. Entomol. Soc. Am.**, 65:807-810.
- REAGAN, B.M.; CHIAO-CHENG, J.H.; STREIT, N., 1980. Effects of Microwave Radiation on the Webbing Clothes Moth, *Tineola bisselliella* (Humm.) and Textiles. **J. Food Protect.**, 43:658-663.

- RICHARDS, O.W.; THOMSON, W.S., 1932. A Contribution to the Study of Genera *Ephestia*, Gn (Including *Strymax*, Dyar), and *Plodia*, Gn (Lepidoptera, Phycitidae), With Notes on Parasites of the Larvae. **Trans. Royal Entomol. Soc. London**, **80**:169-250.
- SCHÖLLER, M.; PROZELL, S.; AL-KIRSHI, A.G.; REICHMUTH, C., 1997. Towards Biological Control as a Major Component of Integrated Pest Management in Stored Product Protection. **J. St. Prod. Res.**, **33**:81-97.
- SERRA, H.J.P., 1992. Bioecologia do Ectoparasito *Habrobracon hebetor* (Say, 1836) (Hymenoptera: Braconidae) em *Anagasta kuehniella* (Zeller, 1879) (Lepidoptera: Pyralidae). Piracicaba, 91p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- STEHR, F.W., 1982. Parasitoids and Predators in Pest Management. In: METCALF, R.L. & LUCKMAN, W.H. (Ed.) **Introduction to Pest Management**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons. p.135-174.
- THOMPSON, W.R., 1947. Use of Moving Averages and Interpolation to Estimate Median Effective Dose. **Bacteriol. Rev.**, **11**:115-145.
- WATTERS, F.L., 1976. Microwave Radiation for Control of *Tribolium confusum* in Wheat and Flour. **J. St. Prod. Res.**, **12**:19-25.
- WEBBER, H.H.; WAGNER, P.; PEARSON, A., 1946. High Frequency Electric Fields as Lethal Agents for Insects. **J. Econ. Entom.**, **39**:487-498.
- WHITNEY, W.K., NELSON, S.O. WALKDEN, H.H., 1961. **Effects of High-Frequency Electric Fields on Certain Species of Stored Grain Insects**. U.S. Department of Agricultural Market Research and Report. 52p.