

ARIENILMAR ARAÚJO LOPES DA SILVA

**CRESCIMENTO POPULACIONAL, PERDAS QUALIQUANTITATIVAS E
NÍVEIS DE DANOS ECONÔMICOS PARA O MANEJO INTEGRADO DE
Rhyzopertha dominica E *Sitophilus zeamais* EM TRIGO ARMAZENADO**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2001

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, que contribui orgulhosamente para o progresso científico do Brasil, juntamente com todos os professores, alunos e funcionários que passam por ela.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), no cumprimento de sua gloriosa missão de fomentar e apoiar o desenvolvimento científico e tecnológico e pelo financiamento deste projeto.

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

À Professora Lêda Rita D'Antonino Faroni, exemplo de profissionalismo, caráter e liderança, que mais uma vez confiou-me um lugar em sua equipe de trabalho.

Ao Professor José Helvecio Martins, exemplo de amizade e dedicação. Ao Professor Raul Narciso Carvalho Guedes, amigo de espírito admirável. Ao Professor Paulo Roberto Cecon que, mesmo não fazendo parte de sua agenda, prestou-me sua bem humorada orientação.

Aos Doutores Pedro Amorim Berbert e Maria Teresa Maya Caldeira que enriqueceram sensivelmente a qualidade final da tese.

Aos Funcionários, Silas, Zé Eustáquio e todos os da Fábrica de Ração.

À minha mãe, minha esposa, meus familiares e todos os meus amigos.

BIOGRAFIA

ARIENILMAR ARAÚJO LOPES DA SILVA, filho de Antônio Lopes da Silva e Ilma Araújo Lopes da Silva, nasceu em Viçosa, Estado de Minas Gerais, no dia 8 de agosto de 1968.

Em 1993, ingressou na atividade de Iniciação Científica e iniciou estágio no Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem.

Em 1994, graduou-se em Agronomia pela Universidade Federal de Viçosa.

Em julho de 1996, graduou-se no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado na área de Armazenamento e Processamento de Produtos Vegetais, na Universidade Federal de Viçosa.

Ainda em 1996 iniciou o Doutorado na área de Armazenamento e Processamento de Produtos Vegetais, na Universidade Federal de Viçosa.

ÍNDICE

	página
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	4
3. CRESCIMENTO POPULACIONAL DE <i>Rhyzopertha dominica</i> (Fabricius) (COLEOPTERA: BOSTRICHIDAE) EM TRIGO ARMAZENADO	6
3.1. RESUMO	6
3.2. ABSTRACT	7
3.3. INTRODUÇÃO	8
3.4. MATERIAL E MÉTODOS	10
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	12
3.5.1. Crescimento populacional de <i>R. dominica</i> em função do tempo e da temperatura de armazenamento	12
3.5.2. Crescimento populacional de <i>R. dominica</i> em função do nível de infestação inicial e do tempo de armazenamento	15
3.6. CONCLUSÕES	20
3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	21
4. CRESCIMENTO POPULACIONAL DE <i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulschy) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EM TRIGO ARMAZENADO	23
4.1. RESUMO	23
4.2. ABSTRACT	24
4.3. INTRODUÇÃO	25

4.4. MATERIAL E MÉTODOS	28
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
4.5.1. Crescimento populacional de <i>R. dominica</i> em função do tempo e da temperatura de armazenamento	30
4.5.2. Crescimento populacional de <i>R. dominica</i> em função do nível de infestação inicial e do tempo de armazenamento	33
4.6. CONCLUSÕES	38
4.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
5. PERDAS CAUSADAS POR <i>Sitophilus zeamais</i> (Motschulsky) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) e <i>Rhyzopertha dominica</i> (Fabricius) (COLEOPTERA: BOSTRICHIDAE) EM TRIGO ARMAZENADO	41
5.1. RESUMO	41
5.2. ABSTRACT	42
5.3. INTRODUÇÃO	43
5.4. MATERIAL E MÉTODOS	45
5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.5.1. Perdas causadas por <i>S. zeamais</i>	48
5.5.2. Perdas causadas por <i>R. dominica</i>	53
5.6. CONCLUSÕES	57
5.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
6. NÍVEIS ECONÔMICOS PARA O MANEJO INTEGRADO DE <i>Sitophilus</i> <i>zeamais</i> (Motschulsky) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) e <i>Rhyzopertha dominica</i> (Fabricius) (COLEOPTERA: BOSTRICHIDAE) EM TRIGO ARMAZENADO	60
6.1. RESUMO	60
6.2. ABSTRACT	61
6.3. INTRODUÇÃO	62
6.4. MATERIAL E MÉTODOS	65
6.4.1. Cálculo do NDE	65
6.4.2. Cálculo do NA	67
6.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
6.6. CONCLUSÕES	73
6.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74
7. CONCLUSÕES GERAIS	76
7. APÊNDICES	78

RESUMO

SILVA, Arienilmar Araújo Lopes da, D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro, 2001. **Crescimento Populacional, Perdas Qualiquantitativas e Níveis de Danos Econômicos para o Manejo Integrado de *Rhyzopertha dominica* e *Sitophilus zeamais* em Trigo Armazenado.** Professora orientadora: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Professores conselheiros: José Helvecio Martins e Raul Narciso Carvalho Guedes.

Estudou-se o crescimento populacional e as perdas causadas por *Sitophilus zeamais* e *Rhyzopertha dominica* em trigo com teor de umidade de 11,1% b.u., armazenado por 90 dias nas temperaturas de 16, 20, 24, 28, 32 e 36 °C, e infestados com as densidades populacionais de 1,3; 2,7; 4,0; 5,3; 6,7; 8,0, e 9,3 insetos/kg. Estimaram-se Nível de Dano Econômico (NDE) e Nível de Ação (NA) para o controle de *S. zeamais* e *R. dominica*, por fumigação e por aeração, em trigo armazenado, considerando-se as perdas econômicas em danos por inseto, em peso hectolítrico e em matéria seca. Para *R. dominica*, o maior crescimento ocorreu na temperatura de 33,3 °C. Comparados com outras pesquisas, os modelos obtidos superestimaram o crescimento para períodos superiores a 45 dias, porque foram obtidos a partir de níveis de infestação inicial muito superiores. Para a espécie *S. zeamais*, o maior crescimento populacional ocorreu na temperatura de 28 °C. O período de 90 dias de armazenagem sob 16 °C não foi suficiente para extinguir as populações. Na temperatura de 36 °C, todas as populações foram extintas. Para ambas as

espécies, as populações de declinaram, mas não foram extintas em 90 dias de armazenagem em 16 °C; e o crescimento populacional foi afetado pelo tamanho da população que iniciou a infestação; quanto maior foi o nível de infestação inicial maior foi o crescimento populacional ao longo do tempo de armazenagem. Quanto ao estudo das perdas, realizou-se a regressão dos dados de população adulta em função dos dados de cada um dos fatores de perda. Pelos modelos obtidos, seria necessária uma população de *S. zeamais* de 180 insetos/kg para se atingir o percentual de 1,5% de grãos danificados, associado ao umedecimento de 0,13 ponto percentual, redução no peso hectolítrico de 0,4 kg/hl e perda de 0,7% de matéria seca. Para *R. dominica*, seria necessário 64 insetos/kg de trigo para que se atingisse 1,5% de grãos danificados, umedecimento de 0,07 ponto percentual, redução de 0,5 kg/hl no peso hectolítrico e perda de 0,5% de matéria seca. *R. dominica* causou mais perdas do que *S. zeamais*. Quanto às ferramentas econômicas, para ambas as espécies, o NDE foi de 0,004 inseto/kg no controle por fumigação e de 0,0023 inseto/kg no controle por aeração, com uma vazão específica de 10 m³/h/m³. Partindo de uma infestação inicial de 0,001 inseto/kg, o NA para o controle de *S. zeamais* com fumigação foi de 0,0022 inseto/kg a 28 °C, o que corresponde a 16,7 dias após a detecção daquela infestação. Para *R. dominica*, o NA para o controle com fumigação foi de 0,001 inseto/kg a 32 °C, o que corresponde a 0 dias após a detecção.

ABSTRACT

SILVA, Arienilmar Araújo Lopes da, D.S., Universidade Federal de Viçosa, February, 2001. **Population Growth, Quality and Quantity Losses and Economic Injury Levels for Integrated Management of *Rhyzopertha dominica* and *Sitophilus zeamais* in Stored Wheat.** Supervisor: Lêda Rita D'Antonino Faroni. Committee Members: José Helvecio Martins and Raul Narciso Carvalho Guedes.

The population growth of *Sitophilus zeamais* and *Rhyzopertha dominica* was studied on wheat at 11.1% moisture content, stored for 90 days at temperatures of 16, 20, 24, 28, 32 and 36 °C, and infested with population densities of 0.0, 1.3, 2.7, 4.0, 5.3, 6.7, 8.0 and 9.3 insects/kg. The Economic-Injury Level (EIL) and Action Threshold (AT) were developed for control with fumigation and aeration methods, evaluating different types of economic losses: percent of weight loss of insect damaged kernels, weight per hectoliter and dry matter loss of wheat grain. The biggest growth of *R. dominica* occurred at 33.3 °C. In contrast with other researchs, the models overestimated the population growth for storage periods over 45 days, because they were obtained from larger initial population densities. For *S. zeamais*, the greatest growth occurred at 28 °C. At temperature of 36 °C, all populations were extinguished. For both species, the period of 90 days of storage under 16 °C was not enough to extinguish the populations and the population growth was affected by initial population density; the highest it was, the highest was the

population growth. For the losses, regression models are presented to predict the losses in function of number of adult insects in grain mass. The obtained models predict that would be necessary a *S. zeamais* population of 180 insects/kg to achieve 1.5% weight loss of insect damaged kernels, associated with a moistening of 0.13%, test weight reduction of 0.4 kg/hl and 0.7% of dry matter loss. For *R. dominica*, would be necessary a population of 64 insects/kg to achieve 1.5% weight loss of insect damaged kernels, associated with a moistening of 0.07%, test weight reduction of 0.5 kg/hl and 0.5% of dry matter loss. The *R. dominica* was more prejudicial than *S. zeamais*. Regarding the economic index, for both species, the EIL was 0,004 insects/kg for fumigation control and 0.0023 insects/kg for aeration control at specific airflow rate of 10 m³/h/m³. Departing from an initial infestation of 0.001 insects/kg, the NA for control of *S. zeamais* with fumigation was 0.0022 insects/kg at 28 °C, which corresponds to 16.7 days after detection that infestation. For *R. dominica*, the NA for control with fumigation was 0.001 insects/kg at 32 °C, which corresponds to 0 days after detection.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Maiores produções agrícolas, particularmente de grãos, têm sido alcançadas como resultado do desenvolvimento e implementação de eficientes técnicas de produção e proteção. É essencial que a disponibilidade de grãos e outros produtos agrícolas seja consolidada pelo desenvolvimento de eficientes práticas de armazenagem para minimizar as perdas durante o armazenamento.

As maiores perdas durante o armazenamento são causadas direta ou indiretamente pela atividade de insetos de grãos armazenados. Estima-se que pelo menos 10% das perdas de grãos armazenados são causadas diretamente por insetos (SINHA, 1995; SCHÖLLER *et al.*, 1997). Por isso é comum o uso indiscriminado de inseticidas, acentuando ainda mais problemas como o desenvolvimento de resistência das pragas, aumento de dosagens dos inseticidas e, conseqüentemente, aumento dos custos sociais e de produção. De fato, o controle químico permanece essencial para se manter a quantidade e a qualidade de grãos durante o armazenamento. Geralmente o inseticida é a ferramenta de manejo mais eficiente e, em muitos casos, é o único método possível para se reduzir a população de insetos. Entretanto, deveria ser usado em situações em que nenhum outro método seguro ou eficiente fosse possível, e se seu uso não causasse riscos indevidos a organismos não-alvo.

Além disso, basta observar a ecologia das pragas de grãos armazenados para entender as limitações de se usar exclusivamente o método químico de controle. A maioria destas pragas tem uma taxa de desenvolvimento capaz de multiplicar a população inicial em pelo menos 10

vezes por mês sob condições ótimas (HAGSTRUM e FLINN, 1992). Assim, é necessário apenas um mês sob condições ótimas para uma população alcançar uma densidade em particular depois de 90% de seu controle e apenas dois meses depois de 99% de seu controle. Portanto, seria necessário a aplicação quase mensal de inseticidas. Mas a aplicação de inseticidas é limitada pelo nível de resíduos químicos permitido no grão como produto alimentício, o que resulta na disponibilidade de uma reduzida lista de inseticidas e dosagens. Além disso, qualquer inseticida usado seguidamente no mesmo ambiente tende a selecionar populações que resistam ao produto. Por isso, atualmente, a resistência de insetos a inseticidas e fumigantes e a necessidade de se manter a susceptibilidade são importantes considerações para um programa de manejo de pragas.

Há alguns anos, agências reguladoras nos Estados Unidos e Europa decidiram que vários fumigantes de uso comum eram inaceitáveis para uso em grãos armazenados por causa do potencial carcinogênico (HAGSTRUM e FLINN, 1992). Infelizmente, nenhum novo fumigante está disponível para substituí-los e o alto custo de desenvolvimento de novos inseticidas de contato para o tratamento de grãos provavelmente diminuirá a produção de novos inseticidas protetores. Assim, a dependência de poucos inseticidas resultará num desenvolvimento cada vez mais rápido de resistência dos insetos a estes inseticidas. No Brasil, foi constatada a resistência de populações de *Sitophilus zeamais* a inseticidas clorados e piretróides (GUEDES *et al.*, 1994) e de populações de *Rhyzopertha dominica* a malation, pirimifós-metílico e clorpirifós-metílico (GUEDES *et al.*, 1996).

Em vista disso, resta aos produtores e armazenadores o Manejo Integrado de Pragas, em que métodos higiênicos e sanitários, tecnológicos, físicos, químicos e biológicos deverão ser combinados para se alcançar o maior nível de proteção da saúde humana, do ambiente e do produto. Se, no passado, a eficiência de uma medida particular de controle era a mais importante consideração no controle de pragas, atualmente, a segurança dos trabalhadores e do ambiente, bem como a qualidade do produto representam aspectos significativos e de alta prioridade. O fato de poucos novos inseticidas estarem disponíveis, devido à escalada dos custos para o desenvolvimento e autorização de um novo composto químico, em torno de 150 milhões de

dólares, segundo SCHÖLLER *et al.* (1997), certamente estimulará a adoção de práticas de Manejo Integrado de Pragas no campo e no armazenamento.

O Manejo Integrado de Pragas é uma metodologia que envolve, fundamentalmente, o monitoramento de insetos, análises de risco e de custo-benefício para a tomada de decisões e o uso de táticas de controle múltiplas. Em programas de manejo integrado, o controle é economicamente eficiente se o custo de controle for menor do que a redução no valor de mercado, causada pela praga. A alternativa ao Manejo Integrado de Pragas é o uso de inseticidas em doses regulares sem, para isso, determinar se o controle de insetos é necessário (HAGSTRUM e FLINN, 1992; HAGSTRUM e FLINN, 1996).

O sistema de grãos armazenados é complexo e envolve a interação de muitas variáveis, tais como teor de umidade e temperatura do grão, tempo de armazenagem, tipos de insetos, migração de insetos, aeração, degradação de inseticidas, espécie e variedade de grão, uso final do grão, tipo de unidade armazenadora e métodos de controle de insetos. Modelos matemáticos, análises econômicas para a tomada de decisão e programas de computador são ferramentas capazes de auxiliar na compreensão desse sistema e no manejo integrado de suas pragas (HAGSTRUM e FLINN, 1992; LOGAN, 1988; SINHA, 1995; STONE, 1992).

2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GUEDES, R. N. C.; LIMA, J. O. G.; SANTOS, J. P.; CRUZ, C. D. Inheritance of Deltamethrin resistance in a Brazilian strain of maize weevil (*Sitophilus zeamais* Mots.). **International Journal of Pest Management**, v.40, n.1, p.103-106, 1994.
- GUEDES, R. N. C.; DOVER, B. A.; KAMBHAMPATI, S. Resistance to chlorpyrifos-methyl, pirimiphos-methyl, and malation in Brazilian and U.S. populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). **Journal of Economic Entomology**, v.89, n.1, p.27-32, 1996.
- HAGSTRUM, D. W.; FLINN, P. W. Integrated pest management of stored-grain insects. In: Sauer, D. B. (ed.). **Storage of Cereal Grains and Their Products**. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 1992. p.535-562.
- HAGSTRUM, D. W.; FLINN, P. W. Integrated pest management. In: Subramanyam, B., Hagstrum, D.W. (eds.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**. New York: M. Dekker, 1996. p.399-409.
- LOGAN, J.A. Toward an expert system for development of pest simulation models. **Environmental Entomology**, v.17, n.2, p.359-376, 1988.
- SCHÖLLER, M.; PROSELL, S.; AL-KIRSHI, A.G.; REICHMUTH, C. H. Towards Biological Control as a Major Component of Integrated Pest Management in Stored Product Protection. **Journal of Stored Product Research**, v.33, n.1, p.81-97, 1997.
- SINHA, R. N. The stored-grain ecosystem. In: Jayas, D., White, N. D. G., Muir, W. E. (eds.). **Stored-Grain Ecosystems**. New York: M. Dekker, 1995. p.1-33.

STONE, N.D. Artificial intelligence approaches to modeling insect systems. In: **Basics of Insect Modeling**. Goodenough, J. L., McKinion, J. M. (eds.). St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers, 1992. 221p.

3. CRESCIMENTO POPULACIONAL DE *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) (COLEOPTERA: BOSTRICHIDAE) EM TRIGO ARMAZENADO

3.1. RESUMO

Estudou-se o crescimento populacional de *Rhyzopertha dominica* (F.) em trigo com teor de umidade de 11,1% b.u., armazenado por 90 dias nas temperaturas de 16, 20, 24, 28, 32 e 36 °C, e infestado com os níveis de densidade populacional de 0,0; 1,3; 2,7; 4,0; 5,3; 6,7; 8,0; e 9,3 insetos/kg. Para essas condições, foram desenvolvidos modelos estatísticos que explicaram de 93,5 a 97,6% da variação na densidade populacional. O maior crescimento populacional ocorreu na temperatura de 33,3 °C e diminuiu drasticamente nas temperaturas inferiores a 32 °C. As populações de *R. dominica* declinaram, mas não foram extintas em 90 dias de armazenagem, sob 16 °C. O crescimento populacional foi afetado pelo tamanho da população que iniciou a infestação; quanto maior foi o nível de infestação inicial, maior foi o crescimento populacional ao longo do tempo de armazenagem. Os modelos de crescimento populacional em função da temperatura e do tempo foram deficientes em descrever um pequeno declínio populacional ao longo do tempo, na temperatura de 16 °C. Comparados com os de outras pesquisas, os modelos obtidos superestimaram o crescimento populacional em períodos de armazenagem superiores a 45 dias, porque foram obtidos a partir de níveis de infestação inicial muito superiores.

PALAVRAS-CHAVE: *Rhyzopertha dominica*, crescimento populacional, modelos matemáticos, trigo armazenado.

3.2. ABSTRACT

The population growth of *Rhyzopertha dominica* (F.) was studied on wheat at 11.1% moisture content, stored by 90 days, at temperatures of 16, 20, 24, 28, 32 and 36 °C, and infested with population densities of 0.0, 1.3, 2.7, 4.0, 5.3, 6.7, 8.0 and 9.3 insects/kg. Over this range of environmental conditions, the obtained models explained 93.5 - 97.6% of the variation in insect density. The biggest growth occurred at 33.3 °C and decreased drastically for temperatures smaller than 32 °C. The period of 90 days of storage under 16 °C was not enough to extinguish the populations. The population growth was affected by initial population density; the bigger it was, the bigger was the population growth. The models for population growth in function of temperature and time were deficient to describe the small population decrease at the temperature of 16 °C. In contrast with other studies, the models overestimated the population growth for storage periods over 45 days, because they were obtained from larger initial population densities.

KEY WORDS: *Rhyzopertha dominica*, population growth, mathematical models, stored wheat.

3.3. INTRODUÇÃO

Perdas econômicas devidas a insetos de grãos armazenados e gastos desnecessários no manejo desses insetos podem ser evitadas utilizando-se o monitoramento de insetos e ferramentas para a tomada de decisão, tais como limites econômicos, modelos matemáticos e programas de computador, para determinar o melhor momento de controlar populações de pragas. Pesquisas sobre monitoramento de insetos e ferramentas para a tomada de decisão ajudam a desenvolver programas de manejo integrado de pragas, além de auxiliar na pesquisa de novos métodos de controle (SUBRAMANYAM e HAGSTRUM, 2000).

A espécie *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) é uma das principais pragas de grãos armazenados, principalmente do trigo, ao qual causa tanto dano quanto o *Sitophilus sp.* (FLINN e HAGSTRUM, 1990). É um inseto com capacidade de infestação cruzada, ou seja, ele pode ser encontrado tanto no campo quanto em armazéns, o que contribui para sua importância como praga. Outro fator que vem contribuindo para este destaque em nível mundial é o aumento significativo de populações resistentes ao controle químico. No Brasil, foi constatada a resistência de populações de *R. dominica* ao malation, pirimifós-metílico e clorpirifós-metílico (GUEDES *et al.*, 1996). O alto custo para se desenvolverem novos inseticidas e a crescente preocupação com resíduos químicos em alimentos estão forçando o desenvolvimento e a aplicação integrada de métodos alternativos de controle. Para isso, são muito úteis os modelos matemáticos capazes de prever o crescimento populacional dos insetos e as perdas que eles causarão, (THRONE, 1995; HAGSTRUM e FLINN, 1996).

A maioria das populações biológicas apresenta um crescimento exponencial ilimitado em condições ideais. Mas condições ideais não subsistem indefinidamente, e as limitações de espaço e de alimento, a competição entre espécies e a presença de predadores reduzem a taxa de crescimento. Neste caso, uma equação logística, com forma de sigmóide, é o modelo matemático mais simples capaz de descrever o crescimento populacional (JONES, 1993). Além disso, esses modelos podem ser ecológicos ou práticos. Os modelos ecológicos baseiam-se em variáveis próprias da

população, como reprodução, mortalidade, idade, tamanho, duração dos estágios de vida, etc. Os modelos práticos são fundamentados em variáveis próprias do ambiente de armazenamento dos grãos, como temperatura, umidade relativa do ar e teor de umidade do grão (SMERAGE, 1992; NORTON e MUMFORD, 1993). Ambos podem ser modelos meramente estatísticos, mas muitos autores questionam o uso de modelos puramente empíricos ou estatísticos (equações de regressão) para descrever a dinâmica de populações.

BERRYMAN (1997) advoga a importância de se considerarem, na modelagem, os quatro princípios fundamentais da teoria da dinâmica de populações: o de crescimento geométrico (lei de Malthus); o da realimentação positiva induzida pela densidade (cooperação intraespecífica); o da realimentação negativa induzida pela densidade (competição intraespecífica); e o da realimentação negativa induzida pelo retardamento da densidade (presença de predadores e outros inimigos naturais). A maioria desses princípios tem sido desconsiderada na modelagem de populações de insetos de grãos armazenados, pois as espécies são estudadas isoladamente e, na realidade, várias espécies infestam os grãos ao mesmo tempo.

Apesar disso, muitos pesquisadores têm apresentado trabalhos recentes, baseados apenas em modelos estatísticos e/ou com uma única espécie. Como exemplos, HAGSTRUM (1996) criou modelos estatísticos para o desenvolvimento populacional de *R. dominica* em trigo, com três teores de umidade: 10, 12 e 14% b.u., nas temperaturas: 22, 27 e 32 °C. THRONE (1994) modelou estatisticamente o desenvolvimento de *S. zeamais* em temperaturas de 10 a 40 °C e umidade relativa de 43 a 76%. MAIER *et al.* (1996) usaram um modelo de simulação, de uma única espécie, para quantificar o efeito de oito práticas de manejo sobre o desenvolvimento de *S. zeamais* nas condições ambientais de cinco estados norte-americanos. Embora incompletas, pesquisas como estas são importantes e, dentro de limites apropriados, seus resultados têm sido usados com sucesso no desenvolvimento do manejo integrado de pragas.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver modelos de crescimento populacional para a espécie *R. dominica*, baseados no efeito da temperatura, do tempo e, também, da densidade populacional que inicia a infestação.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 8x7x6, ou seja, oito níveis de infestação, sete períodos de tempo de armazenagem e seis condições climáticas, com três repetições, o que representou 336 tratamentos e 1.008 unidades experimentais.

As unidades experimentais consistiram de potes de vidro com 250 mm de altura e 140 mm de diâmetro, com livre circulação de gases, onde foi colocado 1,5 kg de trigo limpo, com teor de umidade de 11,1% b.u. Para pesquisar diferentes níveis de infestação inicial, os potes foram infestados com populações de 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14 insetos adultos/1,5 kg da espécie *R. dominica*, o que representa densidades populacionais de 0, 1,3, 2,7, 4,0, 5,3, 6,7, 8,0 e 9,3 insetos/kg de trigo. Esses insetos foram coletados ao acaso em colônias preestabelecidas e não houve controle da proporção sexual nem da idade.

Os potes foram armazenados em câmaras climáticas de 8m³, com controle de temperatura e umidade relativa do ar, e o crescimento populacional ocorreu nas seguintes combinações: 16 °C e 63,0%; 20 °C e 65,0%; 24 °C e 67,0%; 28 °C e 68,5%; 32 °C e 70,0%; e 36 °C e 71%. Essas combinações visaram igualar a taxa de umedecimento higroscópico para todos os tratamentos. Com essas combinações, os grãos poderiam atingir o teor de umidade de equilíbrio de 13% b.u., conforme a equação de Henderson modificada (BROOKER *et al.*, 1992), para trigo mole. Este teor de umidade é o mais comum por ser o padrão para classificação e comercialização do trigo no Brasil (BRASIL, 1999). Adotou-se este intervalo de temperaturas, de 16 a 36 °C, porque ele representa as temperaturas predominantes no clima brasileiro e contém o intervalo de temperaturas ótimas para o desenvolvimento da espécie *R. dominica*, 32 a 35 °C (HOWE, 1950; FARONI e GARCÍA-MARI, 1992).

Para pesquisar diferentes períodos de armazenagem, os potes infestados foram armazenados por 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias. No início do armazenamento e no final de cada período, avaliou-se o crescimento populacional de cada unidade experimental, que, em seguida, foi eliminada.

Para avaliar o crescimento populacional, a massa de 1,5 kg de trigo de cada unidade experimental foi peneirada, durante 40 segundos, em um conjunto de peneiras de malha de arame, para separar os insetos dos grãos e do pó. A primeira peneira, com furos de 1,41 mm (USS 14, Tyler 12), reteve os grãos. A segunda, com furos de 0,59 mm (USS 30, Tyler 28), reteve os insetos adultos e os separou do pó. Para a contagem das populações grandes, com milhares de insetos, adotou-se o seguinte método: para cada pote, pesou-se a população peneirada e, depois, tirou-se uma amostra dela; essa amostra foi pesada e teve seus insetos adultos vivos contados; em seguida, essa relação “número de insetos por grama de amostra” foi usada para calcular a população total.

Os modelos foram desenvolvidos, realizando-se análise de regressão dos dados de população final de insetos como uma função do tempo e da temperatura de armazenagem, em cada nível de infestação inicial. Também foram desenvolvidos modelos com a população final de insetos em função do tempo de armazenagem e do nível de infestação inicial, para cada temperatura. Utilizou-se de modelos exponenciais ou logísticos como modelos pré-definidos para a análise de regressão com o programa STATISTICA for Windows (STATISOFT, 1993).

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1. Crescimento populacional de *R. dominica* em função do tempo e da temperatura de armazenamento

Modelou-se o crescimento populacional em função do tempo e da temperatura de armazenamento, em cada nível de infestação inicial. Um mesmo comportamento repetiu-se em todos os níveis de infestação inicial estudados. Por isso, ajustaram-se modelos semelhantes para todos, descritos pela mesma equação (Equação 1), cujos coeficientes variam em função do nível de infestação inicial, conforme valores apresentados no Quadro 1:

$$Z = P_0 + \exp \left[a + b \cdot \ln(X) + \frac{c}{X} + \frac{d \cdot \ln(X)}{X^e} + f \cdot Y^g \right] \quad (1)$$

em que

- Z = população final de *R. dominica* (insetos adultos/kg de trigo) predita;
 P_0 = população inicial (insetos adultos/kg de trigo);
 X = temperatura (°C);
 Y = tempo de armazenagem (dia);
 a, b, c, d, e, f, g = coeficientes que variam em função da infestação inicial.

Quadro 1. Coeficientes da Equação 1 em cada nível de infestação inicial de *R. dominica*, com seu respectivo coeficiente de determinação (r^2)

P_0	Coeficientes							r^2 (%)
	a	b	c	d	e	f	g	
1,3	677,9657	-157,4531	-5238,185	-6,8175	10,4947	21,6483	0,13736	93,5
2,7	604,0133	-136,5103	-4558,632	369,8544	198,0686	6,6643	0,24899	97,2
4,0	602,6198	-121,8951	-4574,333	-13,9252	-0,0215	9,8581	0,19637	96,3
5,3	389,0167	-66,6041	-3342,485	-7,3369	-0,2566	5,2335	0,26485	96,8
6,7	312,0531	-20,8938	-3053,988	-28,5582	-0,1445	13,7403	0,16046	95,6
8,0	524,3957	-109,3697	-3708,487	-100,1881	0,2632	101,8841	0,03494	97,5
9,3	349,9184	-86,9238	-2871,536	-8,2812	1,3329	35,0694	0,08179	95,7

As Figuras 1 e 2 mostram o comportamento da população de *R. dominica* nos níveis de infestação inicial de 1,3 e 9,3 insetos adultos por

quilograma de trigo. Modelos com melhor coeficiente de determinação (r^2) foram obtidos, mas optou-se por aqueles que apresentaram os melhores valores preditos, ou seja, mais próximos dos valores observados e da tendência esperada. O coeficiente de determinação para o modelo mostrado na Figura 1 foi de 93,5% e foi o menor entre todos para a espécie *R. dominica*.

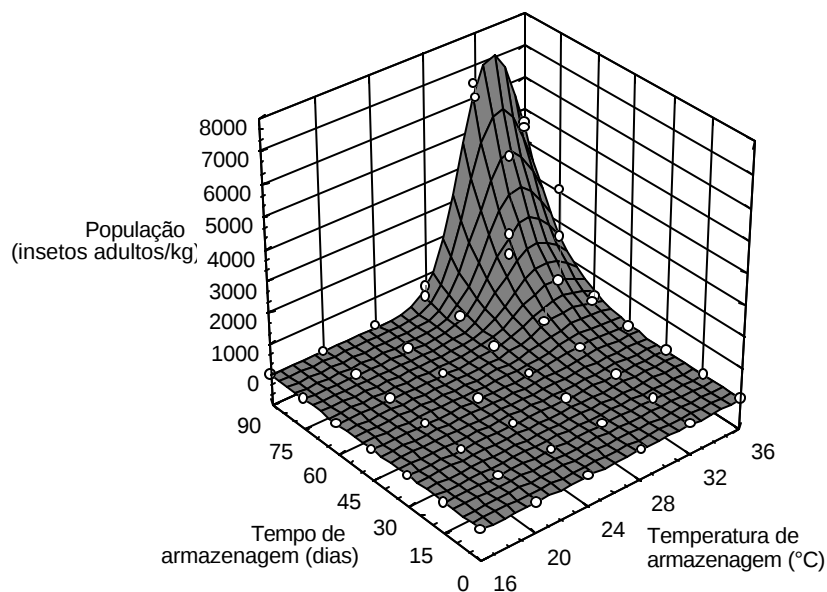


Figura 1. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de uma infestação inicial de 1,3 inseto adulto/kg de trigo ($Z=1,3 + \exp[677,9656 - 157,4531\ln(X) - 5238,185/X - 6,8175\ln(X)/X^{10,4947} + 21,6483Y^{0,1373}]$, $r^2=0,93$).

O maior valor para tamanho de população foi observado a 32 °C, mas o modelo projetou o ponto de máximo em 33,3 °C, o que está de acordo com as condições ótimas determinadas para a espécie em trabalhos como os de HOWE (1950) e FARONI e GARCÍA-MARI (1992).

Abaixo das temperaturas ótimas, de 20 a 28 °C, foram observados crescimentos muito menores, ou seja, o crescimento populacional diminuiu drasticamente com a queda de temperatura e não suavemente como se poderia esperar para uma queda suave na temperatura. Na temperatura de

16 °C, ocorreu um ligeiro declínio, em torno de 0,7%, em 90 dias de armazenagem. Esse declínio não está visível no gráfico devido à grande amplitude do eixo Z.

Esses modelos baseados na Equação 1 não foram hábeis em descrever o ligeiro decréscimo das populações sob a temperatura de 16 °C, predizendo uma população constante para esta condição.

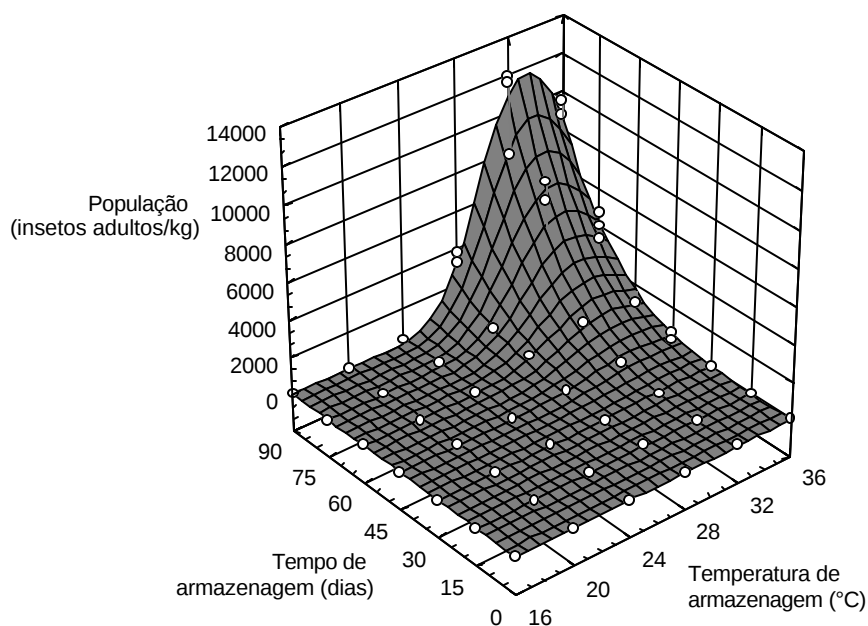


Figura 2. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta), para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de uma infestação inicial de 9,3 insetos adultos/kg de trigo ($Z = 9,3 + \exp[349,9184 - 86,9237\ln(X) - 2871,536/X - 8,2812\ln(X)/X^{1,3329} + 35,0694Y^{0,0818}]$, $r^2 = 0,96$).

Observando a Figura 2 e comparando-a com a Figura 1, conclui-se que a maior diferença entre elas está no tamanho das populações, eixo Z, ou seja, o crescimento populacional de cada população inicial teve o mesmo comportamento em relação à temperatura e ao tempo, mas foi maior em populações iniciais maiores.

3.5.2. Crescimento populacional de *R. dominica* em função do tempo de armazenamento e do nível de infestação inicial

Modelou-se o crescimento populacional em função do tempo e do nível de infestação inicial, em cada temperatura. Os modelos têm a forma geral da Equação 2, cujos coeficientes, em cada temperatura, são apresentados no Quadro 2:

$$Z = \left\{ \frac{a \cdot X \cdot \exp(b \cdot X) + c \cdot X^2}{[d + e \cdot \exp(f \cdot X)]} \right\} \cdot Y^g + Y \quad (2)$$

em que

Z = população final de *R. dominica* (insetos adultos/kg de trigo) predita;

X = tempo de armazenagem (dia);

Y = população inicial ou nível de infestação inicial de *R. dominica*;

a, b, c, d, e = coeficientes que variam em função da infestação inicial.

Quadro 2. Coeficientes da Equação 2 em cada temperatura, com seu respectivo coeficiente de determinação (r^2)

T (°C)	Coeficientes							r^2 (%)
	a	b	c	d	e	f	g	
16	$-1,74 \times 10^{-3}$	0	$1,2 \times 10^{-3}$	1	0	0	1	97,6
20	$1,47 \times 10^{-7}$	0,09581	0	1	0	0	1	97,4
24	$7,26 \times 10^{-3}$	0,04717	0	1	0	0	1	93,3
28	$54,55 \times 10^{-3}$	0,04686	0	1	0	0	1	94,0
32	$2,78 \times 10^{-3}$	0	0	$8,1 \times 10^{-4}$	0,45043	-0,101322	0,52117	89,6
36	$0,29 \times 10^{-3}$	0,05565	0	1	0	0	0,34756	97,5

O efeito da infestação inicial no crescimento da população de *R. dominica* é ilustrado nas condições desfavoráveis de 16 °C (Figura 3) e nas condições ótimas de 32 °C (Figura 5). Observa-se, conforme a Figura 3, que a população de *R. dominica* decresceu lentamente sob a temperatura de armazenagem de 16 °C, em todos os níveis de infestação inicial estudados.

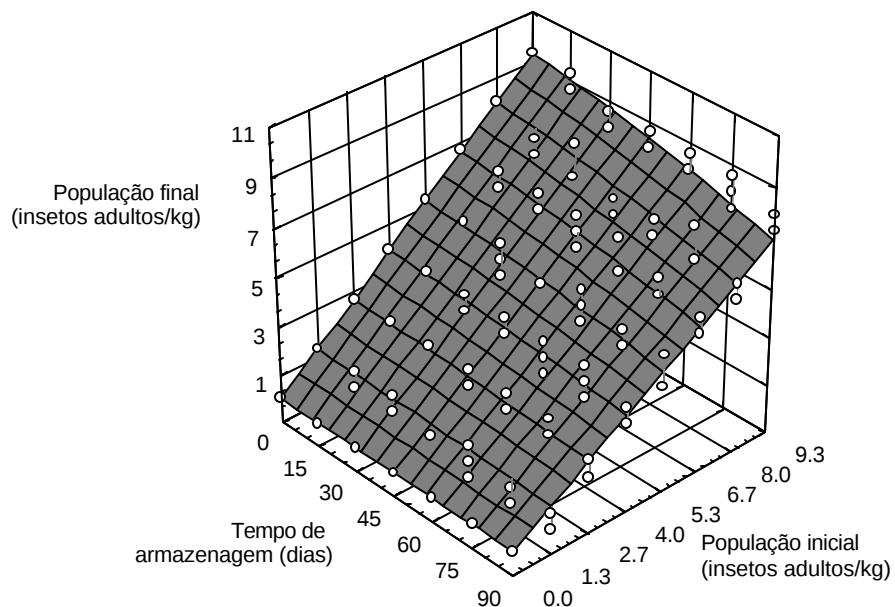


Figura 3. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,3 insetos adultos/kg de trigo, na temperatura de 16 °C ($Z = (-0,001739764X - 0,00001194X^2)Y + Y$, $r^2 = 0,97$).

Nas temperaturas de armazenagem de 20 a 28 °C, observou-se um crescimento exponencial em todos os níveis de infestação inicial (Figura 4), indicando que a quantidade de alimento não foi um fator limitante aos níveis de infestação estudados. O mesmo ocorreu na temperatura de 36 °C, porém com uma pequena diferença em relação ao eixo das populações iniciais (Figura 6), mais visível na linha dos 90 dias. Observa-se que, quanto maior foi a população inicial, maior foi o crescimento populacional, mas essa diferença de crescimentos diminuiu nas temperaturas de 32 e 36 °C. Isso ocorreu porque, em temperaturas desfavoráveis, quanto maior for a população inicial, mais rapidamente se forma uma colônia em algum ponto da massa de grãos, onde a produção de pó e umidade e a atividade crescente de fungos e bactérias, possivelmente, levam à geração e retenção de calor no interior da colônia.

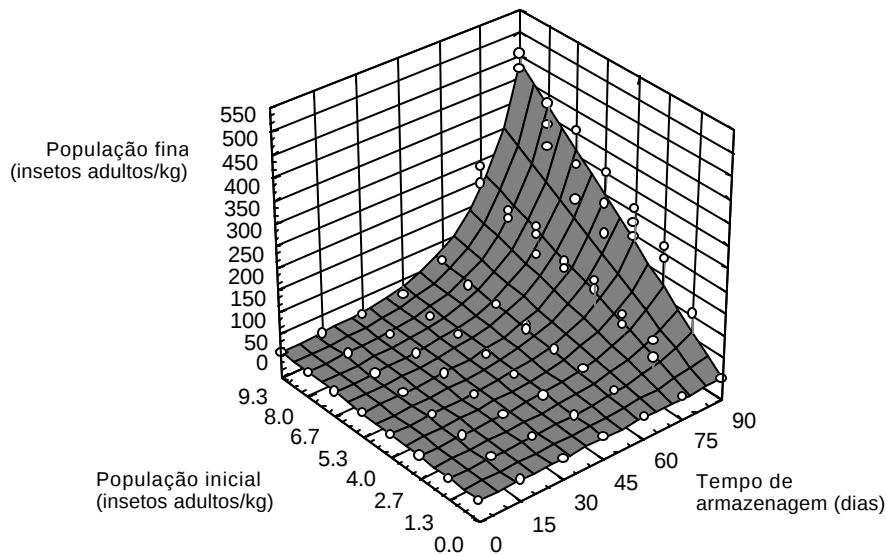


Figura 4. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,3 insetos adultos/kg de trigo, na temperatura de 24 °C ($Z = [0,007262955 \times \exp(0,04717486X)]Y + Y$, $r^2 = 0,93$).

Em 90 dias de armazenagem, na condição ótima de 32 °C, a população inicial de 1,3 inseto atingiu 3.334,8 insetos adultos por quilograma de trigo (Figura 5). Este pico aumentou com o nível de infestação inicial, atingindo 9.304,7 insetos adultos por quilograma de trigo, a partir de 9,3 insetos. Na temperatura de 32 °C (Figura 5), observou-se um crescimento logístico, indicando que, a partir de 75 dias de armazenagem, ocorreu escassez de alimento, que limitou o crescimento de todas as populações.

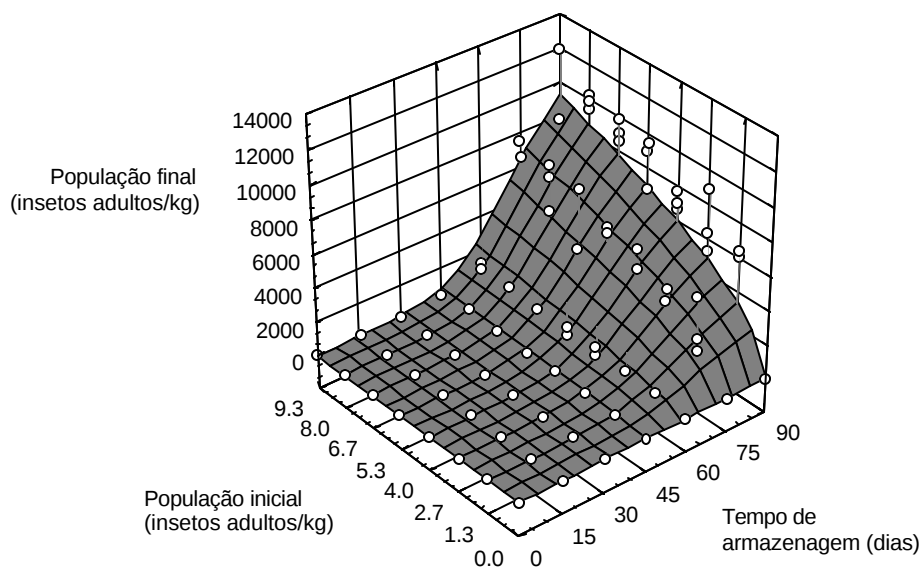


Figura 5. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,3 insetos adultos/kg de trigo, na temperatura de 32 °C ($Z = \{ (0,166621 X) / [0,00081 + 0,45043 \exp(-0,101322 X)] \} (0,166618 Y^{0,521172}) + Y$, $r^2=0,89$).

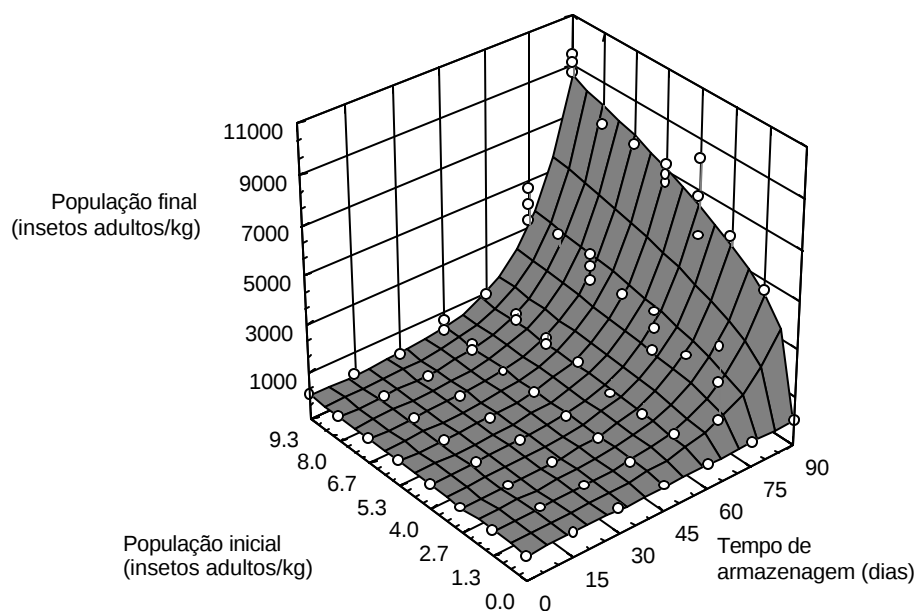


Figura 6. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,3 insetos adultos/kg de trigo, na temperatura de 36 °C ($Z=[0,617383X \exp(0,05564759X)] (0,4734658Y^{0,3475573})+Y$, $r^2 = 0,97$).

Nesta pesquisa, foram obtidos valores de crescimento populacional observados e, conseqüentemente, preditos muito elevados em comparação com os apresentados por outras pesquisas sobre crescimento populacional de *R. dominica*. HAGSTRUM e THRONE (1989), pesquisando o crescimento populacional de *R. dominica*, infestaram trigo com 0,52 inseto adulto/kg. Em 55 dias de armazenagem, o modelo usado por eles predisse um crescimento para uma densidade de 1,5 inseto/kg e o modelo apresentado neste trabalho (Equação 2) prediz 17,7 insetos/kg. Ainda de acordo com HAGSTRUM e THRONE (1989), uma simulação predisse que uma população inicial de *R. dominica* com 0,00012 inseto/kg cresceria para 1,7 inseto/kg em 55 dias de armazenagem. Neste trabalho, o modelo (Equação 2) prediz uma população de 5,3 insetos/kg para condições aproximadas. Para 90 dias de armazenagem, a simulação de HAGSTRUM e THRONE (1989) predisse 8,3 insetos/kg e o modelo apresentado neste trabalho prediz 222,4 insetos/kg. HAGSTRUM (1996), pesquisando o crescimento populacional de *R. dominica*, infestou trigo com uma densidade populacional de 0,074 inseto/kg. O modelo obtido por HAGSTRUM (1996) predisse 5 e 22,4 insetos/kg em 45 e 90 dias de armazenagem, respectivamente. Para essa mesma densidade de infestação inicial e a 32 °C, o modelo da Figura 4 (Equação 2) prediz 4,7 e 1.989,6 insetos/kg em 45 e 90 dias de armazenagem, respectivamente.

Mas as diferenças entre as metodologias não permitem uma comparação direta, pois, nesta pesquisa, as populações desenvolveram-se em condições muito próximas das condições ideais. Além disso, a “cooperação intraespecífica” e o acasalamento podem ter sido favorecidos devido ao reduzido ambiente de 1,5 kg de trigo, isolado em um pote de vidro, ou seja, a migração dentro da massa de grãos, que retardaria a taxa de acasalamento nas condições naturais de um silo, não ocorreu na metodologia usada nesta pesquisa. Essa variável, “migração”, está presente nos modelos ecológicos citados. E, finalmente, a principal causa para a diferença entre os resultados desta pesquisa e os das pesquisas citadas está na variável “densidade populacional inicial” ou “nível de infestação inicial”. Como se pode concluir, quanto maior foi o nível de infestação inicial, maior foi o crescimento populacional. E os níveis de infestação usados nesta metodologia foram muito superiores aos das pesquisas citadas.

3.6. CONCLUSÕES

O maior crescimento populacional de *R. dominica* ocorreu na temperatura de 33,3 °C e diminuiu drasticamente nas temperaturas inferiores a 32 °C.

As populações de *R. dominica* declinaram, mas não foram extintas em um período de 90 dias de armazenagem, sob 16 °C.

Os modelos de crescimento populacional em função da temperatura e do tempo, foram deficientes em descrever um pequeno declínio populacional ao longo do tempo, na temperatura de 16 °C.

O crescimento populacional foi afetado pelo tamanho da população que iniciou a infestação. Nos níveis de infestação inicial estudados, de 0 a 9,3 insetos/kg de trigo, quanto maior foi o nível de infestação inicial, maior foi o crescimento populacional de *R. dominica* ao longo do tempo de armazenagem.

Comparados com os de outras pesquisas, os modelos obtidos superestimaram o crescimento populacional em períodos de armazenagem superiores a 45 dias, porque foram obtidos a partir de níveis de infestação inicial muito superiores.

3.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Norma de identidade e qualidade do trigo. Instrução Normativa nº.1, de 27 de janeiro de 1999. **Diário Oficial**, 29.01.99. 6p. 1999.
- BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. H. Grain equilibrium moisture content. In: Brooker, D. B., Bakker-Arkema, F. W., Hall, C. H. (eds.). **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport, CT: AVI, 1992. p.67-85.
- FARONI, L. R. A.; GARCÍA-MARI, F. Influencia de la temperatura sobre los parámetros biológicos de *Rhyzopertha dominica* (F.). **Boletín Sanitario de los Vegetales e Plagas**, n.18, p.455-467, 1992.
- FLINN, P. W. and HAGSTRUM, D. W. Simulations comparing the effectiveness of various stored-grain management practices used to control *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). **Environmental Entomology**, v.19, n.3, p.725-729, 1990.
- GUEDES, R. N. C.; DOVER, B. A.; KAMBHAMPATI, S. Resistance to chlorpyrifos-methyl, pirimiphos-methyl, and malation in brasilian and U.S. populations of *Rhyzopertha dominica* (Coleoptera: Bostrichidae). **Journal of Economic Entomology**, v.89, n.1, p.27-32, 1996.
- HAGSTRUM, D. W. and THRONE, J. E. Predictability of stored-wheat insect population trends from life history traits. **Environmental Entomology**, v.25, n.6, p.1354-1359, 1989.
- HAGSTRUM, D. W. Monitoring and predicting population growth of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) over a range of environmental conditions. **Environmental Entomology**, v.25, n.6, p.1354-1359, 1996.
- HAGSTRUM, D. W.; FLINN, P. W. Integrated pest management. In: Subramanyam, B., Hagstrum, D.W. (eds.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**. New York: M. Dekker, 1996. p.399-409.
- HOWE, R. W. The development of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) under constant conditions. **The Entomologist's Monthly Magazine**, London, v.86, n.11, p.1-5, 1950.
- JONES, T. H. Analytical models. In: Norton, G. A., Munford, J. D. (eds.). **Decision Tools for Pest Management**. New York: CAB International, 1993. p.101-118.
- MAIER, D. E.; ADAMS, W. H.; THRONE, J. E.; MASON, L. J. Temperature management of maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae), in three locations in the United States. **Journal of Stored Product Research**, v.32, n.3, p.255-273, 1996.

- NORTON, G. A.; HOLT, J.; MUMFORD, J. D. Decision analysis techniques. In: Norton, G. A., Munford, J. D. (eds.). **Decision Tools for Pest Management**. New York: CAB International, 1993. p.43-65.
- SMERAGE, G. H. Representation of development in insect population models. In: Goodenough, J. L., McKinion, J. M. (eds.). **Basics of Insect Modeling**. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers, 1992. p.107-134.
- STATISOFT, Inc. STATISTICA for Windows, release 4.2. 1993.
- SUBRAMANYAM, B.; HAGSTRUM, D. W. Monitoring and decisions tools. In: Subramanyam, B., Hagstrum, D. W. (eds.). **Alternatives to pesticides in stored-product IPM**. Massachusetts: Kluwer Academic, 2000. p.1-28.
- THRONE, J. E. Life history of immature maize weevils *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on corn stored at constant temperatures and relative humidities in the laboratory. **Environmental Entomology**, v.23, n.6, p.1459-1471, 1994.
- THRONE, J. E. Computer Modeling of the Population Dynamics of Stored-Product Pests. In: Jayas, D., White, N. D. G., Muir, W. E. (eds.). **Stored-Grain Ecosystems**. New York: M. Dekker, 1995. p.169-197.

4. CRESCIMENTO POPULACIONAL DE *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) EM TRIGO ARMAZENADO

4.1. RESUMO

Modelou-se matematicamente o crescimento populacional de *Sitophilus zeamais* (Motsch.) em trigo com teor de umidade de 11,1% b.u., realizando-se uma regressão dos dados de população adulta em função do tempo e da temperatura de armazenagem. O trigo foi armazenado por 90 dias nas temperaturas de 16, 20, 24, 28, 32 e 36 °C. Os modelos desenvolvidos explicaram de 93,9 a 98,9% da variação na densidade populacional. O maior crescimento populacional ocorreu na temperatura de 28 °C e diminuiu drasticamente nas temperaturas abaixo e acima desta. O período de 90 dias de armazenagem, sob 16 °C, não foi suficiente para extinguir as populações. Na temperatura de 36 °C, todas as populações foram extintas entre 15 e 45 dias de armazenagem. Os modelos de crescimento populacional em função da temperatura e do tempo descreveram o sistema satisfatoriamente no intervalo de 20 a 32 °C, mas foram deficientes nas temperaturas extremas de 16 °C e 36 °C. O crescimento populacional também foi modelado como uma função do tempo e do nível de infestação inicial ou densidade populacional inicial. Foram estudadas as densidades iniciais de 0,0; 1,3; 2,7; 4,0; 5,3; 6,7; 8,0; e 9,3 insetos/kg. O crescimento populacional foi afetado pelo tamanho da população que iniciou a infestação; quanto maior foi o nível de infestação inicial, maior foi o crescimento populacional ao longo do tempo de armazenagem. Todos os modelos de crescimento populacional em função do nível de infestação inicial e do tempo descreveram o sistema satisfatoriamente.

PALAVRAS-CHAVE: *Sitophilus zeamais*, crescimento populacional, modelos matemáticos, trigo armazenado.

4.2. ABSTRACT

The population growth of *Sitophilus zeamais* (Motsch.) was mathematically modeled for wheat with 11.1% moisture content, establishing a regression of adult population data in function of time and temperature of storage. The wheat was stored by 90 days at temperatures of 16, 20, 24, 28, 32 and 36 °C. The greatest growth occurred at 28 °C and decreased drastically for temperatures smaller and higher than 28 °C. The period of 90 days of storage under 16 °C was not enough to extinguish the populations. At temperature of 36 °C, all populations were extinguished after 15-45 days of storage. The models for population growth in function of temperature and time, were satisfactory to describe the system over an interval of 20-32 °C, but they were deficient to describe the system at extreme temperatures of 16 °C and 36 °C. The population growth also was modeled in function of time of storage and initial level of infestation or initial population densities. The initial infestations studies were 0.0, 1.3, 2.7, 4.0, 5.3, 6.7, 8.0 and 9.3 insects/kg. The population growth was affected by initial population density; the higher it was, the highest was the population growth. All models for population growth in function of time of storage and initial level of infestation were satisfactory to describe the system.

KEY WORDS: *Sitophilus zeamais*, population growth, mathematical models, stored wheat.

4.3. INTRODUÇÃO

O *Sitophilus zeamais* é um inseto de grãos armazenados encontrado em todas as regiões quentes e tropicais do mundo. É praga primária de milho, trigo, arroz e sorgo e pode se desenvolver em produtos de cereais processados, como macarrão e mandioca desidratada (DOBIE *et al.*, 1984). A postura pode ocorrer em grãos com elevado teor de umidade, como, por exemplo, o milho em estado de maturação. Com essa característica e por ser um voador ativo, pode atacar grãos no campo (PACHECO e PAULA, 1995). Como todas as principais pragas de grãos armazenados, o *S. zeamais* tem desenvolvido resistência a inseticidas. No Brasil, foi constatada resistência de populações de *S. zeamais* a inseticidas clorados e piretróides (GUEDES, 1994), por isso métodos alternativos de controle estão sendo cada vez mais avaliados.

Os modelos matemáticos são ferramentas importantes para prever, avaliar e compreender a dinâmica de populações de pragas em ecossistemas naturais ou criados pelo homem em uma variedade de condições ambientais e de ações de manejo (SMERAGE, 1992). Com os modelos, diferentes estratégias de controle podem ser comparadas. Esses modelos são especialmente úteis para se prever a eficiência de métodos não químicos de controle em grãos armazenados, tais como controle por aeração ou inimigos naturais (HAGSTRUM e FLINN, 1996).

Muitos tipos de modelos são usados no estudo e no manejo de pragas, tais como modelos de regressão (estatísticos), de período de infecção, fisiológicos (graus-dia), para simulação, analíticos e para otimização (NORTON *et al.*, 1993). Neste trabalho foram utilizados modelos estatísticos.

Para a modelagem de populações de insetos de grãos armazenados, THRONE (1995) agrupou os modelos estatísticos em duas categorias: modelos ecológicos teóricos e modelos práticos para o manejo de pragas. Os modelos ecológicos baseiam-se em componentes como a duração de estágios imaturos, a mortalidade fisiológica e predatória, a longevidade e a fecundidade de adultos

e a migração. Os modelos práticos para o manejo de pragas são aqueles que geralmente fundamentam-se em condições malthusianas e tentam determinar o efeito dos maiores fatores abióticos. Temperatura do ambiente e teor de umidade do grão são os fatores abióticos de maior influência no crescimento populacional de insetos de grãos armazenados (HAGSTRUM e THRONE, 1989; HAGSTRUM e FLINN, 1992; KAWAMOTO *et al.*, 1992).

Quando um crescimento populacional está livre de fatores limitantes externos, ocorrendo seu máximo nível de natalidade e mínimo nível de mortalidade, há condições ditas malthusianas (HARDMAN, 1976). Considerar que populações de insetos de grãos armazenados crescem em condições malthusianas pode ser razoável para os silos comerciais devido à abundância de alimento e a efeitos externos limitados. Os efeitos do clima sobre as populações de insetos são minimizados pela estrutura de armazenagem e pela propriedade isolante dos grãos (HARDMAN, 1976; THRONE, 1995).

Modelos que descrevam a inter-relação entre espécies de insetos de grãos armazenados são escassos e, em geral, os modelos com uma única espécie não são os mais apropriados para definir condições de armazenagem e estratégias de controle ótimas. Entretanto, a combinação dos resultados das simulações com os modelos de cada espécie tem sido útil na otimização de estratégias de controle (THRONE, 1995).

Atualmente, modelos computacionais que ajudam no manejo de pragas de grãos armazenados não estão disponíveis comercialmente. Além disso, a falta de estudos econômicos dos custos e benefícios de estratégias de controle em grãos armazenados possivelmente dificultará a aceitação desses modelos. Estudos econômicos envolvem a quantificação dos danos causados pelos insetos aos grãos, sua relação com a densidade da população e a incorporação dessas informações aos modelos para a determinação de níveis de dano econômico. Em seguida, os níveis de dano econômico são usados para se otimizarem estratégias de controle. O estudo econômico determina a densidade populacional, chamada de nível de dano econômico, em que o dano causado pela praga equivale ao custo de aplicação de certo controle, e também a densidade populacional em que se deverá aplicar o controle para evitar que a praga ultrapasse aquele nível. Portanto, estimativas precisas e contínuas da densidade populacional serão importantes para os estudos

econômicos (NYROP, 1986; ONSTAD, 1987; HAGSTRUM e FLINN, 1992; THRONE, 1995; BROWN, 1997).

Níveis de infestação em grãos armazenados são, geralmente, determinados pela contagem visual do número de insetos adultos vivos encontrados em amostras de grãos. É um método trabalhoso, caro e que não detecta baixos níveis de infestação. Por isso, têm sido desenvolvidos métodos de monitoramento de populações computadorizados, tais como o método acústico (HAGSTRUM *et al.*, 1996) e o da armadilha eletrônica contadora de insetos (SHUMAN *et al.*, 1996), que permitem um acompanhamento quase ilimitado, contínuo, automático e de baixo custo. Esses métodos estão baseados na densidade populacional, ou seja, no número de insetos adultos por quilograma de grãos. Portanto, o desenvolvimento de modelos também com base direta nesta característica pode ser vantajoso. Por essa razão, neste trabalho, buscou-se o desenvolvimento de modelos de crescimento populacional fundamentados no efeito da temperatura, do tempo e, também, da densidade populacional que iniciou a infestação. Esses modelos têm como um dos dados de entrada a medida de densidade populacional fornecida por um sistema de monitoramento automático.

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 8x7x6, oito níveis iniciais de infestação, sete períodos de tempo de armazenagem e seis condições climáticas, com três repetições.

As unidades experimentais consistiram de potes de vidro com 1,5 kg de trigo, com teor de umidade de 11,1% b.u. Para simular diferentes níveis de infestação inicial, os potes foram infestados com populações de 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14 insetos adultos/1,5 kg, da espécie *S. zeamais*, o que representa densidades populacionais de 0,0; 1,3; 2,7; 4,0; 5,3; 6,7; 8,0; e 9,3 insetos/kg de trigo.

Os potes foram armazenados em câmaras climáticas, onde o crescimento populacional ocorreu nas seguintes combinações: 16 °C e 63%, 20 °C e 65%, 24 °C e 67%, 28 °C e 68,5%, 32 °C e 70%, e 36 °C e 71%. Com essas combinações, os grãos poderiam atingir a umidade de equilíbrio de 13%, em base úmida, que é o teor de umidade padrão para a comercialização de trigo no Brasil (BRASIL, 1999). Adotou-se este intervalo de temperaturas, de 16 a 36 °C, porque ele representa as temperaturas predominantes no clima brasileiro. Além disso, contém o intervalo de temperatura ótimo para o desenvolvimento da espécie *S. zeamais*, 28 a 30 °C (HWANG *et al.*, 1983; THRONE, 1994).

Para pesquisar diferentes períodos de armazenagem, os potes infestados foram armazenados por 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias. No início do armazenamento e no final de cada período, avaliou-se o crescimento populacional de cada unidade experimental, que, em seguida, foi eliminada.

Para avaliar o crescimento populacional, a massa de 1,5 kg de trigo de cada unidade experimental foi peneirada, durante 40 segundos, em um conjunto de peneiras de malha de arame para separar os insetos dos grãos e o pó. A primeira peneira, com furos de 1,41 mm (USS 14, Tyler 12), reteve os grãos. A segunda, com furos de 0,59 mm (USS 30, Tyler 28), reteve os insetos adultos e os separou do pó. Para a contagem das populações grandes, com

milhares de insetos, adotou-se o seguinte método: para cada pote pesou-se a população peneirada e, depois, tirou-se uma amostra dela; essa amostra foi pesada e teve seus insetos adultos vivos contados; em seguida, essa relação “número de insetos por grama de amostra” foi usada para calcular a população total.

Os modelos foram desenvolvidos, realizando-se análise de regressão dos dados de população final de insetos como uma função do tempo e da temperatura de armazenagem, em cada nível de infestação inicial. Também foram desenvolvidos modelos com a população final de insetos em função do tempo de armazenagem e do nível de infestação inicial, para cada temperatura. Utilizou-se de modelos exponenciais ou logísticos como modelos pré-definidos para a análise de regressão com o programa STATISTICA for Windows (STATISOFT, 1993).

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1. Crescimento populacional de *S. zeamais* em função do tempo e da temperatura de armazenamento

Modelou-se o crescimento populacional em função do tempo e da temperatura de armazenamento, em cada nível de infestação inicial. Um mesmo comportamento repetiu-se em todos os níveis de infestação inicial estudados. Por isso, ajustaram-se modelos semelhantes para todos, descritos pela Equação 1. Os coeficientes dessa equação variam em função do nível de infestação inicial conforme o Quadro 1:

$$Z = P_0 + \exp \left[a + b \cdot \ln(X) + \frac{c}{X} + \frac{d \cdot \ln(X)}{X^e} + f \cdot X^g \cdot Y^h \right] \quad (1)$$

em que

- Z = população final de *S. zeamais* (insetos adultos/kg de trigo) predita;
 P_0 = população inicial (insetos adultos/kg de trigo);
 X = temperatura (°C);
 Y = tempo de armazenagem (dia);
 a, b, c, d, e, f, g, h = coeficientes que variam em função da infestação inicial.

Quadro 1. Coeficientes da Equação 1 para os respectivos níveis de infestação inicial (P_0) de *S. zeamais*

P_0	Coeficientes								r^2 (%)
	a	b	c	d	e	f	g	h	
1,3	1368,025	-319,958	-8785,719	9,1335	2,68162	3,10712	0,0	0,41053	93,9
2,7	1053,270	-227,627	-6709,182	-17,0483	-0,00625	0,59874	0,0	0,64314	94,6
4,0	905,999	-210,858	-5751,827	4,5550	0,35514	0,00712	0,0	1,48496	95,7
5,3	949,797	-216,807	-6086,706	-0,5281	-0,50493	0,05925	0,0	1,09388	99,3
6,7	954,265	-223,659	-6068,695	6,5291	0,82471	0,95006	0,0	0,61695	99,1
8,0	885,331	-210,422	-5593,737	8,8533	0,12331	0,00152	0,0	1,80306	98,9

As Figuras 1 e 2 mostram o comportamento da população de *S. zeamais* nos níveis de infestação inicial de 1,3 e 9,3 insetos adultos por quilograma de trigo, respectivamente. Modelos com melhor coeficiente de determinação (r^2) foram obtidos, mas optou-se por aqueles que apresentaram os melhores valores preditos, ou seja, aqueles mais próximos dos valores observados e da tendência esperada.

Ocorreram um pequeno declínio das populações sob a temperatura de 16 °C e o extermínio das populações sob a temperatura de 36 °C, mas esses comportamentos não estão visíveis nas Figuras 1 e 2 devido à grande amplitude do eixo z. Os modelos não foram hábeis em descrever esses comportamentos, predizendo uma população constante a 16 °C e predizendo um pequeno crescimento populacional a 36 °C.

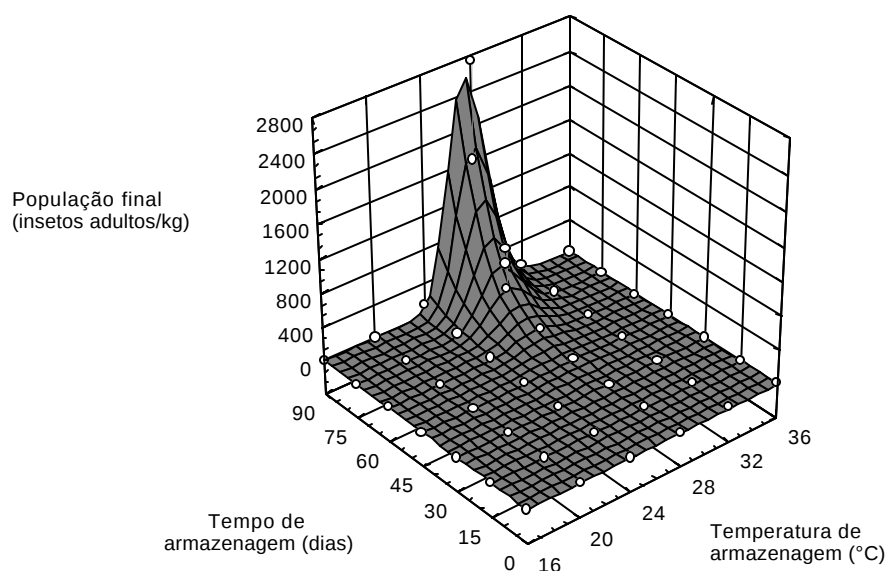


Figura 1. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de uma infestação inicial de 1,3 inseto adulto/kg de trigo ($Z = 1,3 + \exp[1368,025 - 319,96 \ln(X) - 8785,72/X + 9,1335 \ln(X)/X^{2,682} + 3,1071 Y^{0,41053}]$, $r^2 = 0,94$).

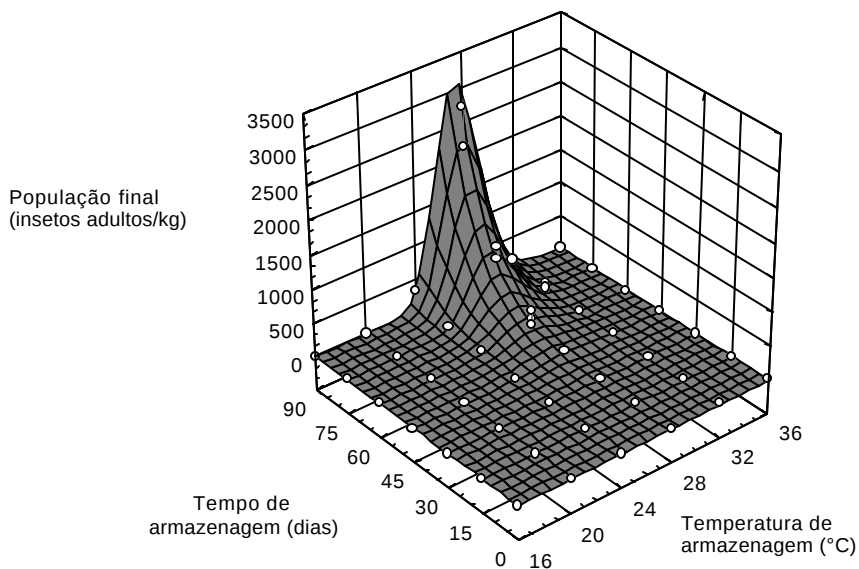


Figura 2. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de uma infestação inicial de 9,3 insetos adultos/kg de trigo ($Z = 9,3 + \exp[874,6348 - 202,037\ln(X) - 5360,22/X - 1,02963\ln(X)/X^{0,39617} + 0,0234XY^{0,647105}]$, $r^2=0,99$).

O maior crescimento populacional, conforme os dados observados, ocorreu a 28 °C e o modelo projetou o ponto de máximo também nesta temperatura, o que está de acordo com as condições ótimas, de 28 a 30 °C, determinadas para a espécie *S. zeamais* em trabalhos como os de HWANG *et al.* (1983) e THRONE (1994). Fora desse intervalo de temperaturas ótimas, foram observados crescimentos muito menores, ou seja, o crescimento populacional diminuiu drasticamente em temperaturas não ótimas. Ocorreu crescimento de 20 a 32 °C. A 36 °C, as populações decresceram rapidamente e foram extintas entre 15 e 45 dias de armazenagem.

4.5.2. Crescimento populacional de *S. zeamais* em função do tempo de armazenamento e do nível de infestação inicial

Modelou-se o crescimento populacional em função do tempo e do nível de infestação inicial, em cada temperatura. Os modelos têm a forma geral da Equação 2, cujos coeficientes, em cada temperatura, estão no Quadro 2:

$$Z = Y \cdot \left[1 + aX \cdot \exp(bX) \cdot Y^c - 1 + dX^e \right] \quad (2)$$

em que

Z = população final de *S. zeamais* (insetos adultos/kg de trigo) predita;
X = tempo de armazenagem (dia);
Y = população inicial ou nível de infestação inicial de *S. zeamais*;
a, b, c, d, e, = coeficientes que variam em função da temperatura.

Quadro 2. Coeficientes da Equação 2 em cada temperatura, com o respectivo coeficiente de determinação (r²)

Temperatura (°C)	Coeficientes					r ² (%)
	a	b	c	d	e	
16	-0,0034	0	1	-0,000011	2	96,1
20	2,75·10 ⁻⁷	0,098424	1,000441	1,838337	1	92,9
24	1,33·10 ⁻⁴	0,092596	1,009419	1,831887	1	98,3
28	0,0089	0,081903	1,093176	0,898213	1	98,2
32	0,4244	0,025035	1,205314	1,300251	1	95,8
36	0,0035	0	1	-0,581053	0,180603	98,9

No pico de crescimento, em 90 dias de armazenagem, a 28 °C, a população inicial de 1,3 inseto adulto por quilograma de trigo atingiu 2.432,2 insetos. Este pico aumentou com o nível de infestação inicial, atingindo 9.617,9 insetos adultos por quilograma de trigo a partir de 9,3 insetos, quase quatro vezes mais insetos.

O efeito da infestação inicial no crescimento da população de *S. zeamais* é ilustrado nas condições desfavoráveis de 16 °C (Figura 3), nas condições ótimas de 28 °C (Figura 4) e nas condições desfavoráveis de 36 °C (Figura 5).

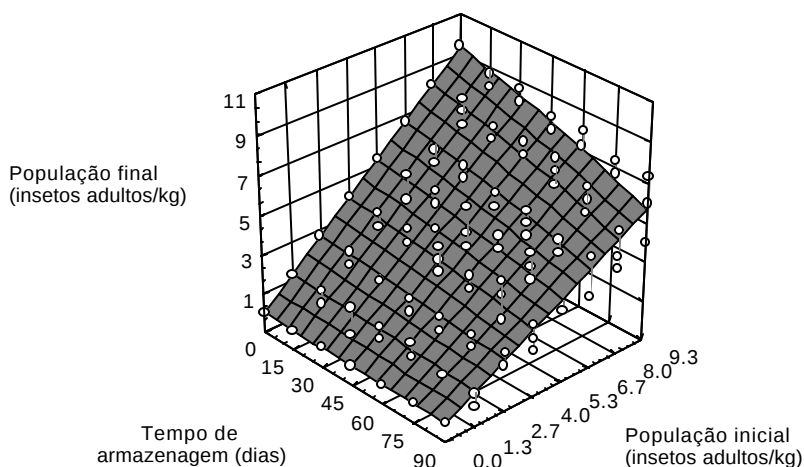


Figura 3. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,3 insetos adultos/kg de trigo, em temperatura de 16 °C ($Z = (0,003381962X - 0,0000107768X^2)Y + Y$, $r^2=0,96$).

Observa-se, na Figura 3, que a população de *S. zeamais* decresceu lentamente sob uma temperatura de armazenagem de 16 °C, em todos os níveis de infestação inicial estudados. Isto está de acordo com THRONE (1994), que observou que, abaixo de 20 °C, as fêmeas de *S. zeamais* colocam poucos ovos.

A partir da temperatura de armazenagem de 20 °C, até 32 °C, observou-se um crescimento exponencial em todos os níveis de infestação inicial (Figura 4), indicando que a quantidade de alimento não foi um fator limitante nos níveis de infestação estudados.

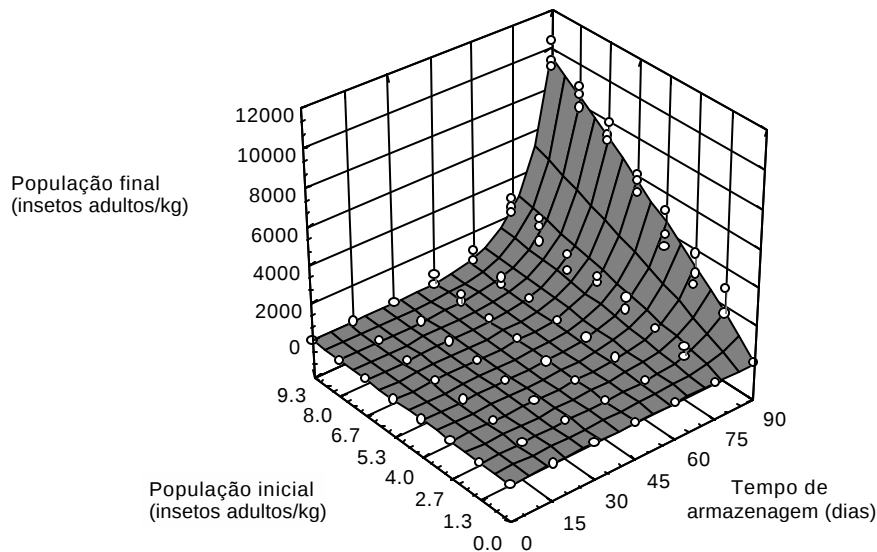


Figura 4. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,3 insetos adultos/kg de trigo, em temperatura de 28 °C ($Z = [0,0965838 \times \exp(0,0819029 X)] (0,09317603Y^{0,8982128}) + Y$, $r^2 = 0,98$).

Na temperatura de 36 °C (Figura 5), todas as populações foram extintas. A população iniciada a partir de 1,3 inseto/kg de trigo foi extinta entre 15 e 30 dias de armazenagem, e a iniciada a partir de 9,3 insetos/kg de trigo, entre 30 e 45 dias de armazenagem. THRONE (1994), estudando *S. zeamais*, também observou que nenhum inseto adulto sobreviveu sob 35 °C. O modelo não prediz valores de populações absolutamente iguais a zero nos períodos citados, mas sim valores infinitamente pequenos. Além disso, prediz valores negativos em alguns períodos acima de 45 dias. Contudo, essas características do modelo não alteram a conclusão prática de extermínio acima de 45 dias de armazenagem.

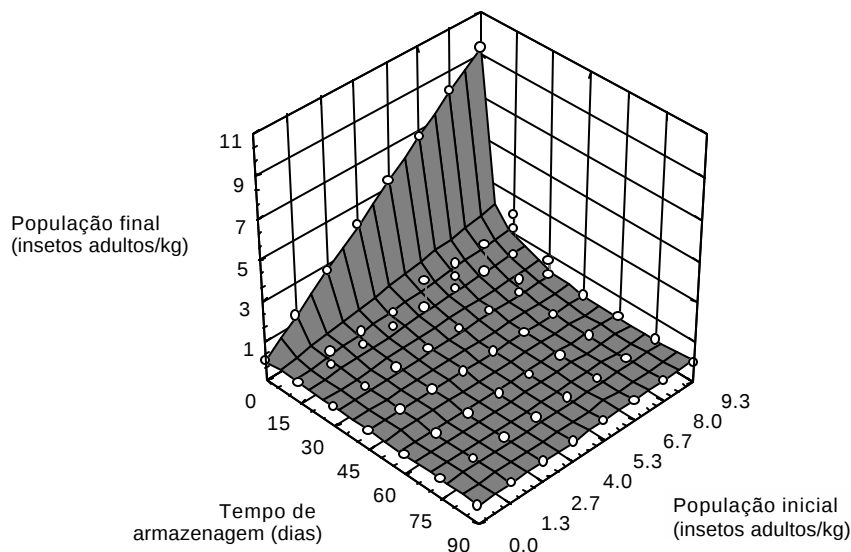


Figura 5. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,3 insetos adultos/kg de trigo, em temperatura de 36 °C ($Z = (0,003502567X - 0,5810531X^{0,1806032})Y + Y$, $r^2=0,99$).

Na literatura, não foram encontradas pesquisas de assuntos idênticos o suficiente para que seus resultados pudessem ser usados para complementar a validação dos modelos apresentados aqui. A seguir, são citadas pesquisas com alguma semelhança.

HARDMAN (1978), para validar seu modelo, infestou trigo com uma densidade populacional de 143 insetos adultos/kg, com a espécie *S. oryzae*. O modelo usado predisse um crescimento populacional equivalente a 7.333 insetos/kg de trigo em 90 dias de armazenagem. O modelo apresentado neste trabalho (Equação 2), para a mais alta infestação inicial estudada, prediz 3.013 insetos/kg de trigo.

LONGSTAFF (1981) estudou o crescimento populacional de *S. oryzae* em trigo infestado com 109,1 insetos/kg. Em condições ótimas, seu modelo predisse uma população de adultos equivalente a 727,3 insetos/kg de trigo em 90 dias de armazenagem. O modelo apresentado neste trabalho (Equação 2),

para uma população inicial de 9,3 insetos/kg de trigo, prediz 9.617,9 insetos/kg de trigo, em condições próximas.

MAIER *et al.* (1996) usaram um modelo de simulação para quantificar o efeito de práticas de manejo no crescimento populacional de *S. zeamais* em milho armazenado. Eles adotaram, como parâmetro de entrada para o modelo, uma infestação inicial de um casal de adultos/25,5 kg de milho, mais uma taxa de reinfestação de 12 pares de adultos adicionados a cada dia, em um silo metálico contendo 591,4 t de milho. Em torno de 45 dias de armazenamento, com a temperatura variando de 27 a 30 °C, a população total de adultos atingiu 180.000 insetos.

Como se pode observar pelas pesquisas citadas, os modelos apresentam predições de desenvolvimento populacional muito diferentes entre si. Estas diferenças devem-se a metodologias diversas, tais como uso de diferentes tipos de grãos (milho e trigo), diferentes espécies (*S. zeamais* e *S. oryzae*) e, principalmente, diferentes níveis de infestação inicial.

4.6. CONCLUSÕES

O maior crescimento populacional de *S. zeamais* ocorreu a 28 °C e diminuiu drasticamente em temperaturas maiores ou menores que essa.

Na temperatura de 36 °C, todas as populações foram extintas. A população iniciada a partir de 1,3 inseto/kg de trigo foi extinta entre 15 e 30 dias de armazenagem e aquela iniciada a partir de 9,3 insetos/kg de trigo, entre 30 e 45 dias de armazenagem.

Nos níveis de infestação inicial estudados, de 0 a 9,3 insetos/kg de trigo, quanto maior foi o nível de infestação inicial, maior foi o crescimento populacional de *S. zeamais*.

O período de 90 dias de armazenagem, sob 16 °C, não foi suficiente para exterminar as populações de *S. zeamais* em todos os níveis de infestação estudados.

Todos os modelos de crescimento populacional em função da temperatura e em função do nível de infestação inicial apresentaram um elevado coeficiente de determinação e descreveram o sistema satisfatoriamente, porém os primeiros foram deficientes nas temperaturas extremas de 16 °C e 36 °C.

4.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Norma de identidade e qualidade do trigo. Instrução Normativa nº.1, de 27 de janeiro de 1999. **Diário Oficial**, 29.01.99. 6p. 1999.
- BROWN, G. C. Simple models of natural Enemy Action and Economic Thresholds. **American Entomologist**, n.43, p.117-124, 1997.
- DOBIE, P.; HAINES, C. P.; HODGES, R. J.; PREVETT, P. F. **Insects and arachnids of tropical stored products, their biology and identification: a training manual**. UK, Tropical Development and Research Institute, 1984. 273p.
- PACHECO, I. A.; PAULA, D. C. de. **Insetos de Grãos Armazenados - Identificação e Biologia**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1995. 229p.
- GUEDES, R. N. C.; LIMA, J. O. G.; SANTOS, J. P.; CRUZ, C. D. Inheritance of Deltamethrin resistance in a Brazilian strain of maize weevil (*Sitophilus zeamais* Mots.). **International Journal of Pest Management**, v.40, n.1, p.103-106, 1994.
- HAGSTRUM, D. W. and THRONE J. E. Predictability of stored-wheat insect population trends from life history traits. **Environmental Entomology**. v.18, n.4, p.660-664, 1989.
- HAGSTRUM, D. W. and FLINN, P. W. Integrated pest management of stored-grain insects. In: Sauer, D. B. (ed.). **Storage of Cereal Grains and Their Products**. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 1992. p.535-562.
- HAGSTRUM, D. W. and FLINN, P. W. Integrated pest management. In: Subramanyam, B., Hagstrum, D.W. (eds.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**. New York, NY: M. Dekker, 1996. p.399-409.
- HAGSTRUM, D. W.; FLINN, P. W.; SHUMAN, D. Automated monitoring using acoustical sensors for insects in farm-stored wheat. **Journal of Economic Entomology**, v.89, n.1, p.211-217, 1996.
- HARDMAN, J. M. Life table data for use in deterministic and stochastic simulation models predicting the growth of insect populations under Malthusian conditions. **The Canadian Entomologist**, v.108, n.9, p.897-906, 1976.
- HARDMAN, J. M. A logistic model simulating environmental changes associated with the growth of populations of rice weevils *Sitophilus oryzae*, reared in small cells of wheat. **Journal of Applied Ecology**, v.15, n.1, p.65-87, 1978.

- HWANG, J. S.; HSIEH, F. K.; KUNG, K. S. Influences of temperature and relative humidity on the development and reproduction of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Plant Protection Bulletin**, n.24, p.41-52, 1983.
- KAWAMOTO, H.; SINHA, R. N.; MUIR, W. E. Computer Simulation Modelling for Stored-Grain Pest Management. **Journal of Stored Product Research**, v.28, n.2, p.139-145, 1992.
- LONGSTAFF, B. C. The manipulation of population growth of a pest species an analytical approach. **Journal of Applied Ecology**, v.18, p.727-736, 1981.
- MAIER, D. E.; ADAMS, W. H.; THRONE, J. E.; MASON, L. J. Temperature management of maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motsch. (Coleoptera: Curculionidae), in three locations in the United States. **Journal of Stored Product Research**, v.32, n.3, p.255-273, 1996.
- NORTON, G. A.; HOLT, J.; MUMFORD, J. D. Introduction to pest models. In: Norton, G. A., Mumford, J. D. (eds.). **Decision Tools for Pest Management**. New York: CAB International, 1993. p.43-65.
- NYROP, J. P; FOSTER, R. E.; ONSTAD, D. W. The value of sample information in pest control decision-making. **Journal of Economic Entomology**, v.79, p.1421-1429, 1986.
- ONSTAD, D. W. Calculation of economic-injury levels and economics thresholds for pest management. **Journal of Economic Entomology**, v.80, n.2, p.297-303, 1987
- SMERAGE, G. H. Representation of development in insect population models. In: Goodenough, J. L., McKinion, J. M. (eds.). **Basics of Insect Modeling**. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers, 1992. p.107-134.
- SHUMAN, D.; COFFELT, J. A.; WEAVER, D. K. A computer-based electronic fall-through probe insect counter for monitoring infestation in stored products. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.39, n.5, p.1773-1780, 1996.
- STATISOFT, Inc. STATISTICA for Windows, release 4.2. 1993.
- THRONE, J. E. Life history of immature maize weevils *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on corn stored at constant temperatures and relative humidities in the laboratory. **Environmental Entomology**, v.23, n.6, p.1459-1471, 1994.
- THRONE, J. E. Computer Modeling of the Population Dynamics of Stored-Product Pests. In: Jayas, D., White, N. D. G., Muir, W. E. (eds.). **Stored-Grain Ecosystems**. New York: M. Dekker, 1995. p.169-197.

**5. PERDAS CAUSADAS POR *Sitophilus zeamais* (Motschulsky)
(COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) e *Rhyzopertha dominica*
(Fabricius) (COLEOPTERA: BOSTRICHIDAE)
EM TRIGO ARMAZENADO**

5.1. RESUMO

Foram estudadas as perdas associadas ao crescimento populacional de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) e *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) em trigo armazenado e obtidos modelos de regressão que predizem as perdas em função do número de insetos adultos presentes na massa de grãos. Durante 90 dias de armazenagem, avaliaram-se a população de insetos adultos, o teor de umidade dos grãos, o percentual em massa de grãos danificados por insetos, o peso hectolítrico e a perda de matéria seca da massa de grãos, em temperaturas de 16 a 36 °C. Pelos modelos obtidos, seria necessária uma população de *S. zeamais* de 180 insetos/kg para se atingir o percentual de 1,5% de grãos danificados, associado a um umedecimento de 0,13 ponto percentual, uma redução no peso hectolítrico de 0,4 kg/hl e uma perda de 0,7% de matéria seca. Para *R. dominica*, seria necessária uma população de 64 insetos/kg de trigo para que se atingisse o percentual de 1,5% de grãos danificados, juntamente com um umedecimento de 0,07 ponto percentual, uma redução de 0,5 kg/hl no peso hectolítrico e uma perda de 0,5% de matéria seca. Em populações de mesmo tamanho, *R. dominica* foi mais prejudicial do que *S. zeamais*. Dentre os fatores de perda e classificação comercial do trigo, o percentual de grãos danificados foi o mais influenciado pelo crescimento populacional dos insetos.

PALAVRAS-CHAVE: *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica*, trigo armazenado, perdas, modelos matemáticos.

5.2. ABSTRACT

The losses associated with population growth of *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) and *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) were studied on stored wheat. Regression models are presented to predict the losses in function of the number of adult insects in grain mass. In the course of 90 days of storage, adult insect population, moisture content, percent of weight loss of insect damaged kernels, test weight per hectoliter and dry matter loss of wheat grains, were evaluated at 16-36 °C. The obtained models predict that would be necessary a *S. zeamais* population of 180 insects/kg to achieve 1.5% weight loss of insect damaged kernels, associated with a moistening of 0.13%, test weight reduction of 0.4 kg/hl and 0.7% of dry matter loss. For *R. dominica*, would be necessary a population of 64 insects/kg to achieve 1.5% by weight of insect damaged kernels, associated with a moistening of 0.07%, test weight reduction of 0.5 kg/hl and 0.5% of dry matter loss. For equal size populations, the *R. dominica* was more prejudicial than *S. zeamais*. Among loss, grade and class factors for wheat, percent weight loss of insect damaged kernels was more affected by the insect population growth.

KEY WORDS: *Sitophilus zeamais*, *Rhyzopertha dominica*, stored wheat, losses, mathematical models.

5.3. INTRODUÇÃO

Os insetos de grãos armazenados têm sido extensivamente controlados por métodos químicos há décadas, mas as crescentes limitações ao uso de inseticidas convencionais têm incentivado as pesquisas sobre sistemas de controle integrado, envolvendo métodos químicos e não-químicos, aplicados na seqüência e no momento apropriado para se alcançarem os resultados desejados (HAREIN e DAVIS, 1992; SCHÖLLER *et al.*, 1997). Segundo ONSTAD (1987), o controle deveria ser feito quando a população estabelecesse o nível cujas perdas fossem maiores do que o custo de controle. Portanto, a relação entre o tempo de infestação e as perdas causadas pelos insetos de grãos ao longo da armazenagem deve ser estudada para que a eficiência econômica dos métodos de controle possa ser evidenciada. Além disso, o estudo da relação entre o tamanho da população de insetos e as perdas vai aprimorar os modelos de simulação e os sistemas especialistas em manejo de pragas de grãos armazenados. Esse estudo também poderá auxiliar no aperfeiçoamento das Normas de Classificação e Comercialização do Trigo, com maior coerência entre os níveis dos fatores de classificação.

As perdas pós-colheita em regiões tropicais são altamente variáveis, sendo possível encontrar casos em que as perdas variam de 0 a 100% (HAINES, 1995). Pelo menos 10% das perdas durante o armazenamento são causadas diretamente pelo ataque de insetos (SINHA, 1995). Esses insetos não apenas consomem grande quantidade de grãos como também reduzem o seu valor monetário, pois os danificam e alteram o ambiente da massa, favorecendo outros fatores de deterioração, como os fungos e a respiração dos grãos, além de contaminar os grãos com sua exúvia, excrementos e outros despojos, aumentar os níveis de ácidos graxos livres, contaminar com ácido úrico, causar odores, empobrecer o rendimento e a qualidade das farinhas (BROOKER *et al.*, 1992; PEDERSEN, 1992; FARONI, 1995; WHITE, 1995).

A redução no valor de mercado é baseada na perda de massa dos grãos, ou seja, perda em quantidade e em qualidade. Perdas em quantidade são de maior importância em países tropicais, caso da maior parte do território

brasileiro, onde os insetos têm um ambiente próximo do ótimo de crescimento durante a maior parte do ano (HAREIN e DAVIS, 1992). A perda de massa é oficialmente avaliada pelo mercado de trigo por meio da medida do peso hectolítrico. A Norma Brasileira de Classificação e Comercialização do Trigo permite, no mínimo, 78, 75 e 70 kg/hl para os tipos 1, 2 e 3, respectivamente, com teor de umidade de 13% b.u. (BRASIL, 1999). Para se verificar a perda de qualidade, diversos testes podem ser empregados, tais como teor de umidade, percentual de grãos danificados por inseto, teor de fragmentos de insetos na farinha, susceptibilidade à quebra e teste de germinação (BROOKER *et al.*, 1992). Quanto ao teor de umidade, a norma brasileira permite o valor máximo de 13% para todos os tipos e com relação ao percentual de grãos danificados, o máximo permitido é de 0,5, 1,0 e 1,5%, em massa, de grãos danificados por insetos para os tipos 1, 2 e 3, respectivamente (BRASIL, 1999). O trigo que não atender às exigências para o tipo 3 é classificado como "Abaixo do Padrão". Quanto aos demais fatores de qualidade, eles não fazem parte nem da norma brasileira nem das internacionais.

Os objetivos desta pesquisa são estudar o crescimento populacional de duas das principais pragas do trigo armazenado, *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) e *Rhyzopertha dominica* (Fabricius), e relacionar esse crescimento com as perdas em quantidade e em qualidade, consideradas pelas normas internacionais de comercialização do trigo.

5.4. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 8x7x6x2, sendo oito níveis iniciais de infestação, sete períodos de tempo de armazenagem, seis condições climáticas e duas espécies de inseto, *S. zeamais* e *R. dominica*, com três repetições, resultando em 672 tratamentos e 2.016 unidades experimentais.

As unidades experimentais consistiram em potes de vidro com livre circulação de gases, onde foi colocado 1,5 kg de trigo limpo, com teor de umidade de 11,1% b.u.. O peso hectolítrico inicial foi de 78,42 kg/hl. Os potes foram infestados com populações de 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12 e 14 insetos adultos/1,5 kg de cada espécie em tratamentos separados. Os potes foram armazenados em câmaras climáticas onde o crescimento populacional ocorreu nas seguintes combinações de temperatura e umidade relativa: 16 °C e 63%, 20 °C e 65%, 24 °C e 67%, 28 °C e 68,5%, 32 °C e 70%, 36 °C e 71%. Essas combinações visaram igualar o umedecimento higroscópico para todos os tratamentos, para que se pudesse quantificar o umedecimento causado exclusivamente pelas infestações. Com essas combinações, os grãos poderiam atingir o teor de umidade de equilíbrio de 13% b.u., conforme a equação de Henderson, modificada por Thompson, (BROOKER *et al.*, 1992), para trigo mole. Esse intervalo de temperaturas, de 16 a 36 °C, contém a temperatura ótima para o desenvolvimento das duas espécies (HOWE, 1950; FARONI e GARCÍA-MARI, 1992; HWANG *et al.*, 1983; THRONE, 1994).

Os potes infestados foram armazenados por períodos de 0, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias. No final de cada período, foram avaliadas a população de insetos adultos e as perdas quantitativas e qualitativas atualmente consideradas pelas normas de comercialização do trigo (BRASIL, 1999). Para se conhecer a perda em quantidade, avaliou-se a perda de matéria seca. Foram avaliados o teor de umidade, o peso hectolítrico e o percentual de grãos danificados por insetos para se verificar a perda em qualidade.

Para avaliar o crescimento populacional, o trigo foi peneirado em um conjunto de peneiras de malha de arame para separar os insetos dos grãos e

do pó. A primeira peneira, com furos de 1,41 mm (USS 14, Tyler 12), reteve os grãos. A segunda, com furos de 0,59 mm (USS 30, Tyler 28), reteve os insetos adultos e os separou do pó.

Para relacionar o crescimento populacional com as perdas em quantidade, avaliou-se a perda de matéria seca, com base na massa e no teor de umidade da massa de grãos, antes e depois de cada período de armazenagem. Antes de iniciar a armazenagem sob infestação, foram determinados a massa e o teor de umidade do trigo de cada unidade experimental. A massa variou de 1.500 a 1.515 g. Depois de cada período, os grãos foram separados do pó e dos insetos, para ter a massa e o teor de umidade novamente determinados.

Para relacionar o crescimento populacional com as perdas em qualidade, foram feitos testes de teor de umidade, peso hectolítrico e percentual de grãos danificados por insetos. Retiraram-se amostras da massa de grãos peneirada para a realização de cada teste, em três repetições. Para a determinação do teor de umidade, utilizou-se o método padrão de estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, por 24 horas (BRASIL, 1992). Para se determinar o peso hectolítrico, utilizou-se uma balança da marca Dallemole, com capacidade para um quarto de litro. Para o teste de grãos danificados por insetos, coletaram-se e pesaram-se amostras de 100 grãos de trigo, que foram inspecionados visualmente, sendo os danificados separados e pesados, e o resultado expresso como percentagem em massa. Esse teste é uma adaptação do teste de sementes danificadas por insetos (BRASIL, 1992) que expressa o resultado como percentagem em número de grãos.

Ocorreu umedecimento higroscópico durante o armazenamento, concorrendo para a redução do peso hectolítrico. Esse efeito foi avaliado pela comparação dos resultados com aqueles obtidos para o tratamento sem infestação e, assim, foi possível isolar o umedecimento e a redução de peso hectolítrico causados pelas populações de insetos. Para isso, subtraiu-se o valor da testemunha (sem infestação) do valor de seu respectivo tratamento.

Os dados associados de população final e perda, observados em cada temperatura e em cada período de armazenagem, foram colocados em ordem crescente de tamanho de população para se fazer a análise de regressão. Para relacionar as perdas em quantidade e em qualidade com o crescimento

populacional, ajustou-se, por meio de regressão não linear, o modelo matemático:

$$Y = a X^b$$

em que

Y = perda em umedecimento, danos por inseto, peso hectolítrico ou matéria seca;

X = população final de *S. zeamais* ou *R. dominica* (insetos adultos/kg de trigo);

a, b = coeficientes.

Utilizou-se o programa STATISTICA for Windows (STATISOFT, 1993) para a análise de regressão.

Uma mesma população x é mais ativa e causa mais perdas a 32 °C do que a 16 °C, por exemplo. Mas, para os dados deste experimento, uma população x a 16 °C está associada a um período de armazenagem muito maior do que a 32 °C, o que pode igualar as perdas. Por isso, neste trabalho, optou-se por desenvolver um único modelo de perda, envolvendo os dados de todas as temperaturas.

5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os modelos apresentados a seguir compreendem populações que vão de zero a milhares de insetos por quilograma de trigo. Esse intervalo foi importante para a visualização da linha de tendência e identificação do modelo mais apropriado, mas, do ponto de vista prático, as perdas limites estão associadas a densidades populacionais de apenas algumas centenas de insetos por quilograma.

5.5.1. Perdas causadas por *S. zeamais*

As Figuras 1, 2, 3, e 4 mostram, respectivamente, o incremento, em pontos percentuais, do teor de umidade a partir do valor inicial de 11,1% b.u., do percentual de grãos danificados, do peso hectolítrico e da matéria seca do trigo com o crescimento da população de insetos.

HARDMAN (1978), para validar seu modelo, infestou 696 g de trigo com 100 adultos de *S. oryzae*, o que corresponde a 143 insetos/kg. O trigo com teor de umidade de 12,4% b.u. foi armazenado na temperatura de 23 °C. O autor não mencionou a umidade relativa ou a possibilidade de umedecimento higroscópico. Seu modelo predisse um umedecimento de 3,6 pontos percentuais em 90 dias para uma população de 7.333 insetos/kg, mesmo valor predito pelo modelo apresentado neste trabalho (equação correspondente à curva da Figura 1).

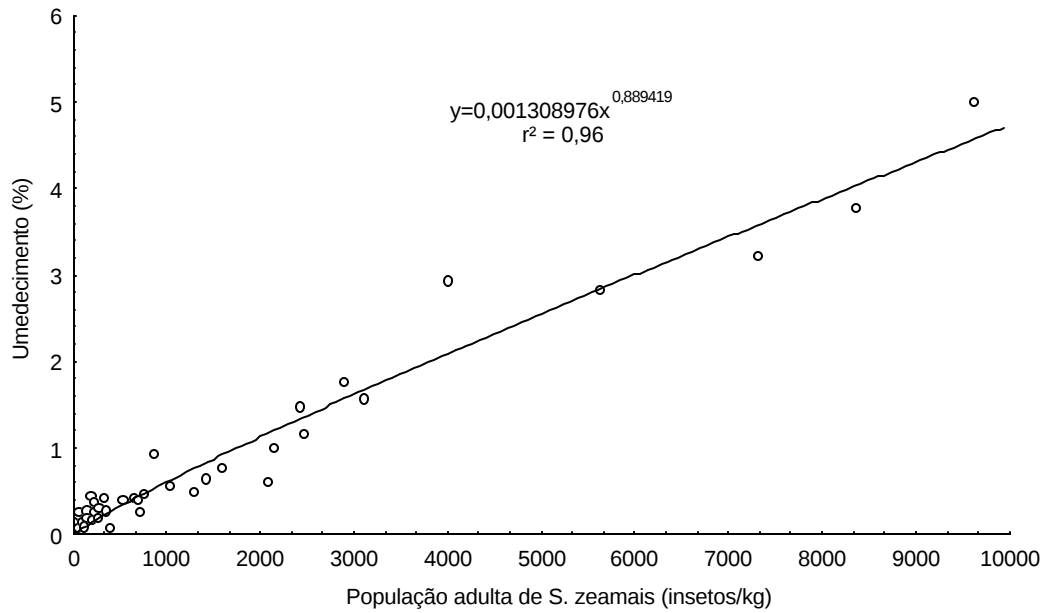


Figura 1. Valores observados (círculos) e preditos (linha) para o umedecimento em função da população final de *S. zeamais* em trigo.

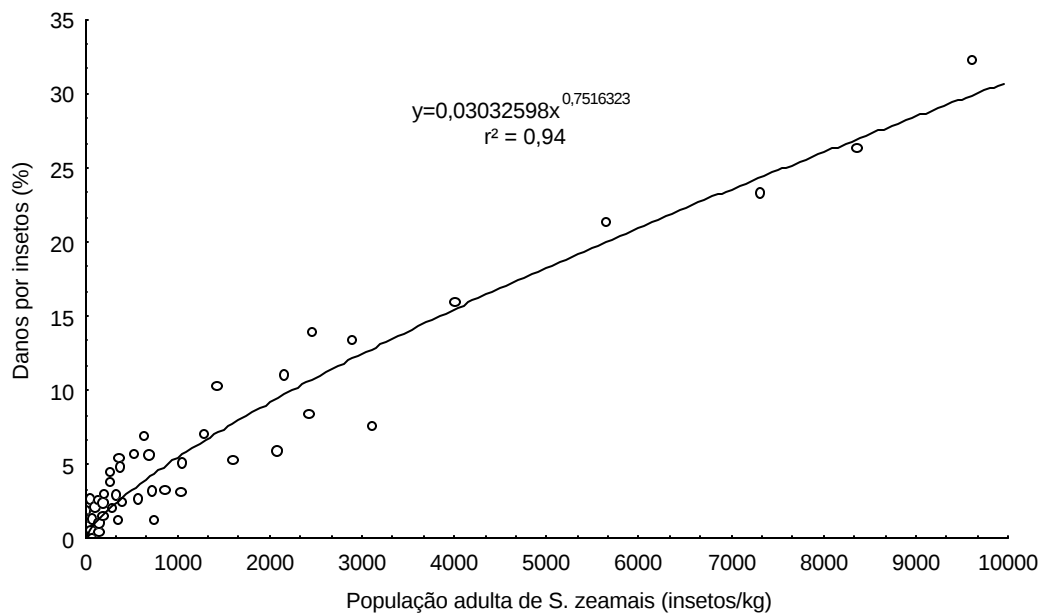


Figura 2. Valores observados (círculos) e preditos (linha) para os danos em função da população final de *S. zeamais* em trigo.

Quanto ao percentual de grãos danificados, Figura 2, o modelo de LONGSTAFF (1981) para *S. oryzae* em trigo tratado com inseticida protetor,

armazenado a 24 °C, predisse uma quantidade de aproximadamente 10^4 grãos danificados para uma população de 727 insetos/kg. Considerando que 10^4 grãos danificados equivale a aproximadamente 200g, o modelo da Figura 2 prediz 200g (2%) de grãos danificados para uma população de 2 06 insetos/kg. Cotait e Piza, citados por BRANDÃO (1988), encontraram de 26 a 33% de grãos de milho danificados por *S. oryzae* em 120 dias de armazenagem, mas não mencionaram as condições climáticas de armazenagem. Em condições ótimas, o modelo prediz 3,7% de grãos de trigo danificados por *S. zeamais* em 120 dias de armazenagem, a partir de uma infestação inicial de 0,02 inseto/kg e 63% a partir de uma infestação inicial de 1,3 inseto/kg.

Quanto à relação entre a população de *S. zeamais* e a redução no valor do peso hectolétrico, não foram encontradas pesquisas sobre o assunto. O modelo apresentado na Figura 3 prediz que uma queda de 3kg/hl está associada a uma infestação de 1.520 insetos/kg. Os modelos apresentados no Capítulo 4 desta tese predizem que uma infestação inicial de 1,3 inseto/kg, a 28 °C, levaria 85 dias para causar esta perda e alterar a classificação do trigo do tipo 1 (78 kg/hl) para o tipo 2 (75 kg/hl).

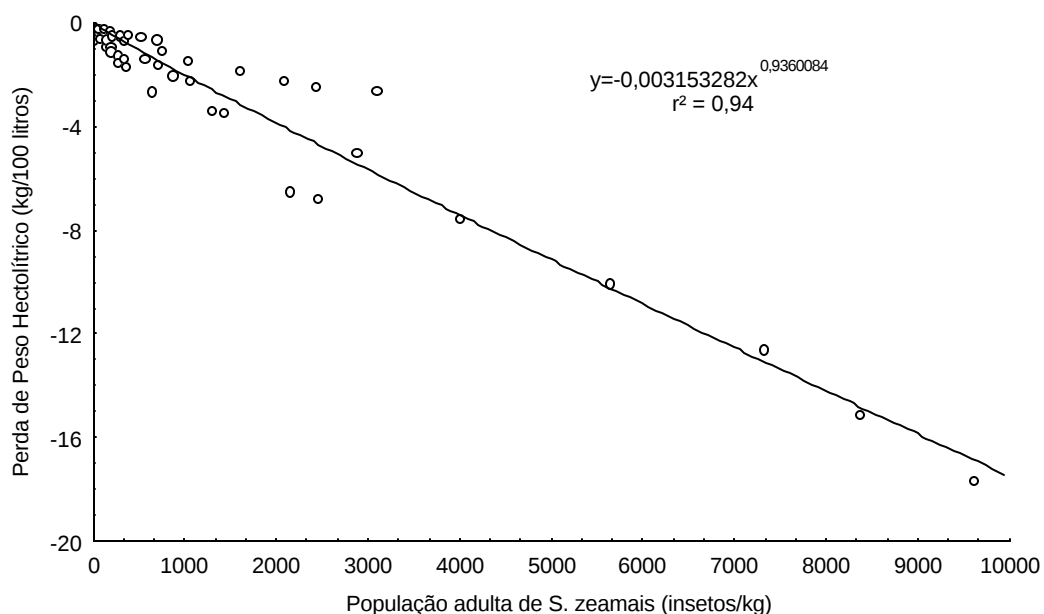


Figura 3. Valores observados (círculos) e preditos (linha) para a perda de peso hectolétrico em função da população final de *S. zeamais* em trigo.

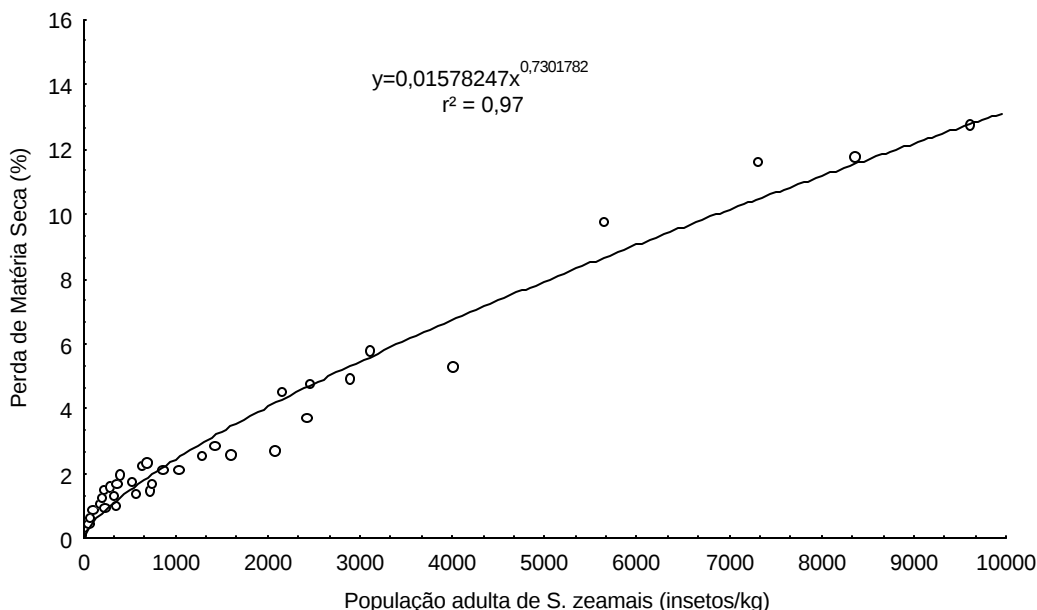


Figura 4. Valores observados (círculos) e preditos (linha) para a perda de matéria seca em função da população final de *S. zeamais* em trigo.

Neste experimento, estudou-se a perda em quantidade baseada na matéria seca, a fim de que os resultados pudessem ser aplicados a grãos com teores de umidade diferentes. Mas deve ser observado que o inseto consome água junto com a matéria seca do grão e, se são consumidas água e matéria seca na mesma proporção, não importa a base em que são apresentados os resultados. Por exemplo, em um silo com 100 t de trigo com 13% de teor de umidade, há 87 t de matéria seca e 13 t de água. Conforme o modelo apresentado na Figura 4 e o modelo apresentado no Capítulo 4 desta tese (Equação 1 apresentada a seguir), uma infestação de 0,02 inseto/kg causa uma perda de 1% de matéria seca em 113 dias de armazenagem a 28 °C. Se considerarmos que, juntamente com 1% de matéria seca, é consumido 1% de água, tem-se um perda de massa total equivalente a 1% das 100 t, ou seja, 1 t.

$$Z = [0,0965838X \cdot \exp(0,08190292 X)] \cdot (0,09317603 Y^{0,8982128}) + Y \quad (1)$$

em que

- Z = população final de *S. zeamais* (insetos adultos/kg de trigo);
- X = tempo de armazenagem (dia);
- Y = população inicial ou nível de infestação inicial de *S. zeamais*.

Conforme os modelos apresentados nas Figuras de 1 a 4, seria necessária uma população de *S. zeamais* de 180 insetos/kg de trigo para que se atingisse um percentual de grãos danificados de 1,5%, juntamente com umedecimento de 0,13 ponto percentual, uma redução de 0,41 kg/hl no peso hectolítrico e uma perda de 0,7% de matéria seca. Para mostrar a consequência prática desses valores, vamos avaliar, como exemplo, uma infestação inicial de 1,3 inseto/kg. Conforme o modelo apresentado no Capítulo 4 desta tese (Equação 2 apresentada a seguir), essa infestação inicial atinge uma população de 180 insetos/kg em 64 dias, a 28 °C, e em mais de 90 dias, abaixo de 24 °C e acima de 32 °C. O trigo que não atender às exigências para o tipo 3 é classificado como "Abaixo do Padrão" (BRASIL, 1999). Portanto, em condições ótimas, uma infestação inicial de 1,3 inseto/kg reduz a qualidade do trigo abaixo do padrão de classificação em 64 dias, primeiramente pelo fator de perda "percentual de grãos danificados por inseto", com 2%:

$$Z = 1,3 + \exp \left[1368,025 - 319,96 \ln(X) - \frac{8785,72}{X} + \frac{9,1335 \ln(X)}{X^{2,682}} + 3,1071 Y^{0,41053} \right] \quad (2)$$

em que

- Z = população (insetos adultos) na temperatura X e no tempo Y;
- X = temperatura (°C);
- Y = tempo (dia).

5.5.2. Perdas causadas por *R. dominica*

As Figuras 5, 6, 7, e 8 mostram, respectivamente, o incremento em pontos percentuais do teor de umidade a partir do valor inicial de 11,1% b.u., o incremento do percentual de grãos danificados, a redução do peso hectolítrico e da matéria seca do trigo com o crescimento da população de *R. dominica*.

Conforme o modelo apresentado na Figura 5, o umedecimento de um ponto percentual está associado a uma população de 935 insetos/kg de trigo.

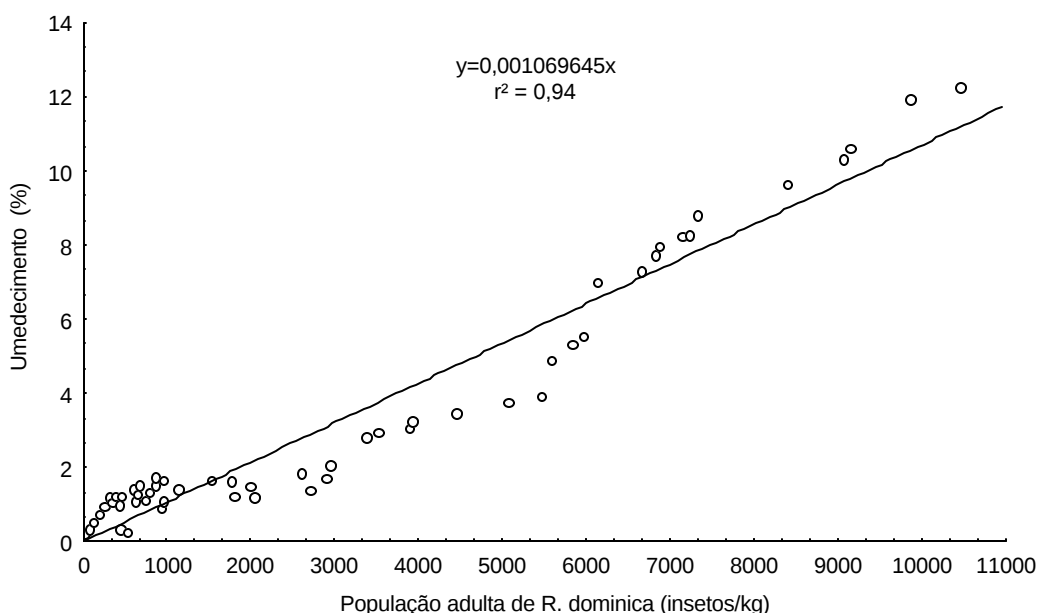


Figura 5. Valores observados (círculos) e preditos (linha) para o umedecimento em função da população final de *R. dominica* em trigo.

FLINN e HAGSTRUM (2001) observaram 148 grãos danificados por inseto/100g de trigo depois de 131 dias de armazenagem, a 27 °C, partindo de uma infestação inicial de 0,02 inseto/kg. Considerando-se que 1.000 grãos sadios pesam 37 g (HOSENEY e FAUBION, 1992) e que grãos danificados por inseto perderam pelo menos 1/4 de sua massa, deduz-se que aquele valor corresponde a 4,1%, em massa, de grãos danificados por inseto. O modelo apresentado na Figura 6 e os modelos de crescimento populacional

apresentados no Capítulo 3 predizem 4,96% de grãos danificados para a temperatura de 28 °C, indicando semelhança entre os resultados.

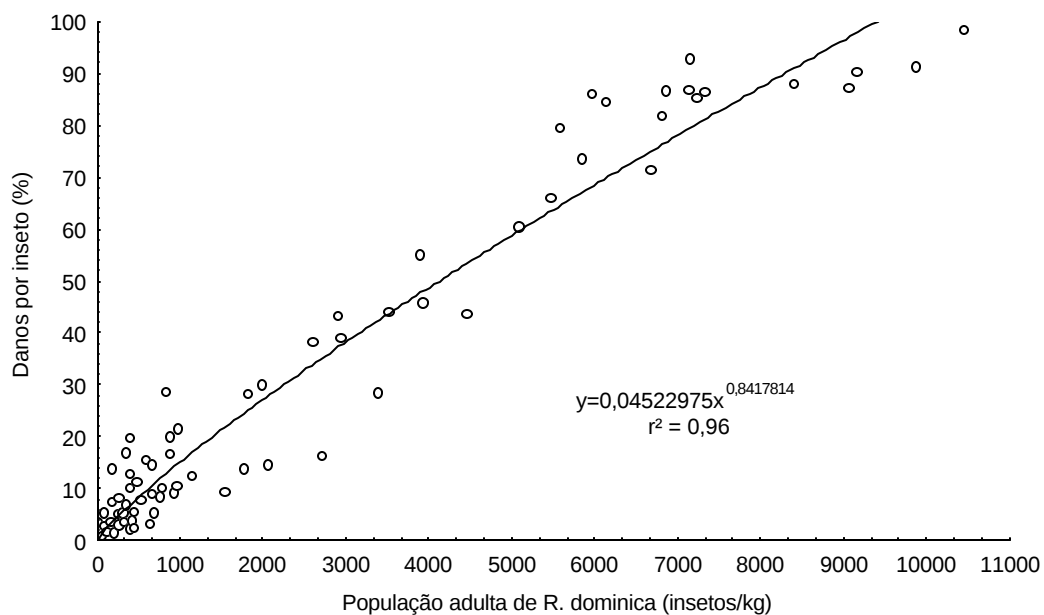


Figura 6. Valores observados (círculos) e preditos (linha) para os danos em função da população final de *R. dominica* em trigo.

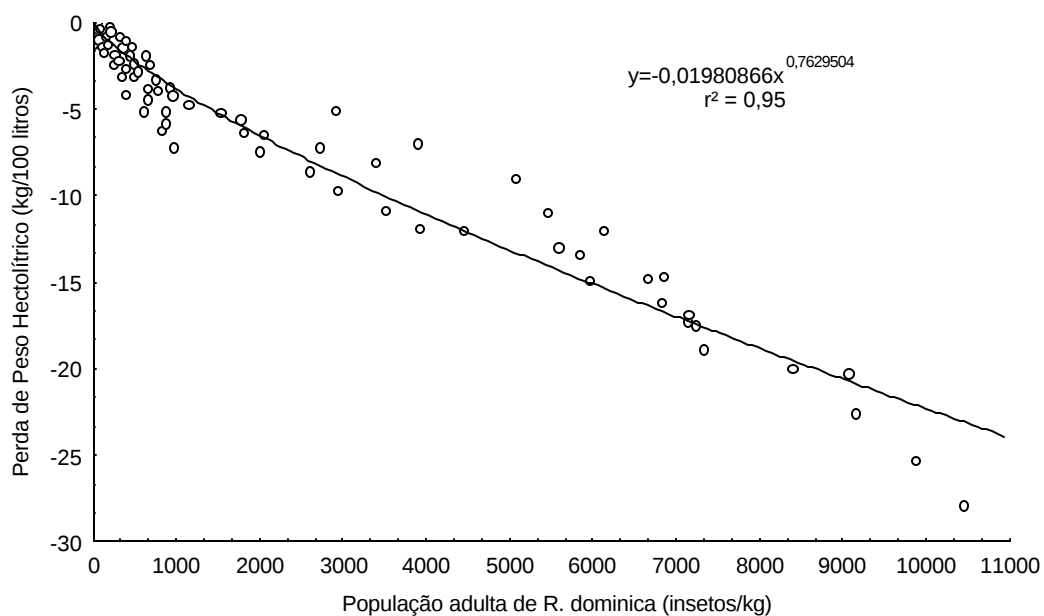


Figura 7. Valores observados (círculos) e preditos (linha) para a perda de peso hectolítrico em função da população final de *R. dominica* em trigo.

Quanto à redução no valor do peso hectolítrico, o modelo apresentado na Figura 7 prediz que uma queda de 3 kg/hl está associada a uma infestação de 935 insetos/kg. Os modelos apresentados no Capítulo 3 desta tese predizem que uma infestação inicial de 1,3 inseto/kg, a 32 °C, levaria aproximadamente 63 dias para causar esta perda e alterar a classificação do trigo do tipo 1 (78 kg/hl) para o tipo 2 (75 kg/hl).

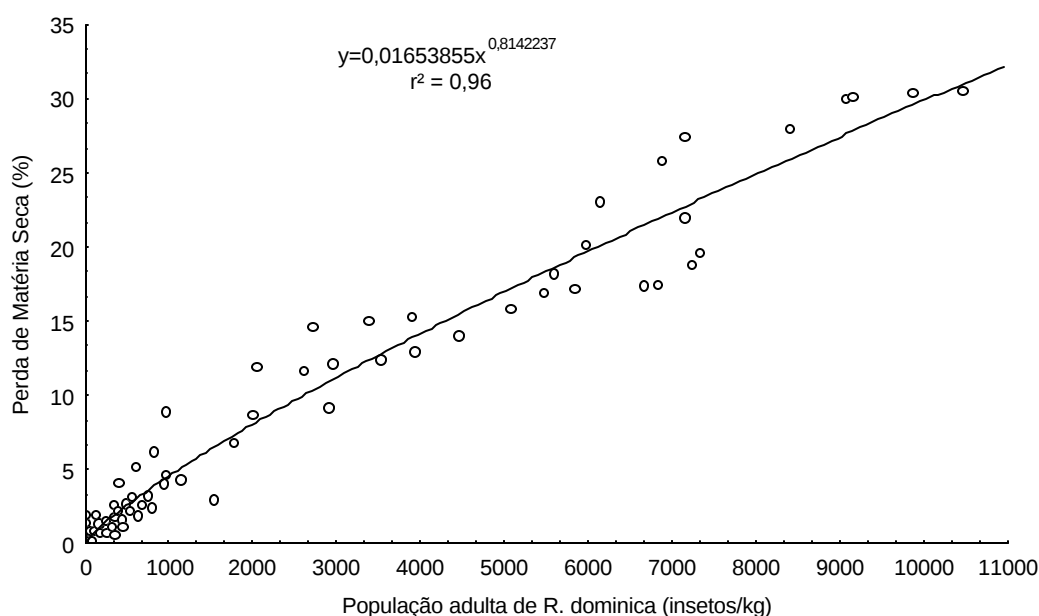


Figura 8. Valores observados (círculos) e preditos (linha) para a perda de matéria seca em função da população final de *R. dominica* em trigo.

Conforme os modelos apresentados, seria necessária uma população de *R. dominica* de 64 insetos/kg de trigo para que se atingisse um percentual de grãos danificados de 1,5%, juntamente com umedecimento de 0,07 ponto percentual, uma redução de 0,5 kg/hl no peso hectolítrico e uma perda de 0,5% de matéria seca. Conforme o modelo apresentado no Capítulo 3 desta tese (Equação 3 apresentada a seguir), uma infestação inicial de 1,3 inseto/kg atinge uma população de 64 insetos/kg em 37 dias a 32 °C, em 40 dias a

36 °C, em 59 dias a 28 °C, e em mais de 90 dias em temperaturas abaixo de 28 °C.

$$Z = 1,3 + \exp \left[677,966 - 157,453 \ln(X) - \frac{5238,185}{X} - \frac{6,817 \ln(X)}{X^{10,4947}} + 21,648 Y^{0,1373} \right] \quad (3)$$

em que

Z = população (insetos adultos) na temperatura X e no tempo Y;
X = temperatura (°C);
Y = tempo (dia).

Quanto à comparação dos resultados entre as duas espécies, para populações de 0 a 100 insetos/kg, os valores de perda de matéria seca são semelhantes, mas as perdas com umedecimento, com peso hectolítrico e com grãos danificados foram, aproximadamente, duas vezes maior para *R. dominica*. Isso ocorreu devido às diferenças de comportamento alimentar das larvas das espécies. Ambas podem ter consumido a mesma quantidade de matéria seca, mas a larva de *S. zeamais* se mantém oculta dentro de um grão aparentemente sadio, enquanto a larva de *R. dominica* se desenvolve em um grão previamente danificado. Deste modo, em grãos infestados por *R. dominica*, os danos ocorrem mais precocemente e, conseqüentemente, o umedecimento e a redução de peso hectolítrico também.

5.6. CONCLUSÕES

Para populações de mesmo tamanho, a espécie *R. dominica* mostrou-se a maior causadora de perdas em trigo armazenado do que a espécie *S. zeamais*. Essa diferença aumentou com o crescimento da população.

Em infestações com 0 a 100 insetos/kg, para valores semelhantes de perda de matéria seca entre as espécies, as perdas com umedecimento, peso hectolítrico e grãos danificados foram, aproximadamente, duas vezes maior para *R. dominica*, em comparação com *S. zeamais*.

Dentre os fatores de perda de qualidade e classificação comercial do trigo, o fator percentual de grãos danificados mostrou-se mais sensível ao crescimento populacional.

5.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Departamento Nacional de Produção Vegetal, Divisão de Sementes e Mudas. **Regras para Análise de Semente s**. Brasília: [s.n.], 1992. 365p.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Norma de identidade e qualidade do trigo. Instrução Normativa nº.1, de 27 de janeiro de 1999. **Diário Oficial**, 29.01.99. 6p. 1999.
- BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. H. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport, CT: AVI, 1992. 450p.
- FARONI, L. R. A.; GARCÍA-MARI, F. Influencia de la temperatura sobre los parámetros biológicos de *Rhyzopertha dominica* (F.). **Boletín Sanitario de los Vegetales e Plagas**, n.18, p.455-467, 1992.
- FARONI, L. R. A. Pragas e métodos de controle. In: Silva, de J. e S. **Pré-Processamento de Produtos Agrícolas**. Juiz de Fora, MG: Instituto Maria, 1995. 350p.
- FLINN, P. W.; HAGSTRUM, D. W. Augmentative releases of parasitoid wasps in stored wheat reduces insect fragments in flour. **Journal of Stored Products Research**, v.33, p.179-186, 2001.
- HAINES, C. P. Grain storage in the tropics. In: Jayas, D., White, N. D. G., Muir, W. E. (eds.). **Stored-Grain Ecosystems**. New York: M. Dekker, 1995. p.169-197.
- HAREIN, P. K.; DAVIS, R. Control of stored-grain insects. In: Sauer, D. B. (ed.). **Storage of Cereal Grains and their Products**. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 1992. p.491-534.
- HOSENEY, R. C.; FAUBION, J. M. Physical properties of cereal grains. In: Sauer, D. B. (ed.). **Storage of cereal grains and their products**. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 1992. p.1-38.
- HOWE, R. W. The development of *Rhyzopertha dominica* (F.) (Coleoptera: Bostrichidae) under constant conditions. **The Entomologist's Monthly Magazine**, London, v.86, n.11, p.1-5, 1950.
- HWANG, J. S.; HSIEH, F. K.; KUNG, K. S. Influences of temperature and relative humidity on the development and reproduction of the maize weevil, *Sitophilus zeamais* Motschulsky. **Plant Protection Bulletin**, n.24, p.41-52, 1983.
- ONSTAD, D. W. Calculation of economic-injury levels and economics thresholds for pest management. **Journal of Economic Entomology**, v.80, n.2, p.297-303, 1987.

- PEDERSEN, J. R. Insects: identification, damage and detection. In: Sauer, D. B. (ed.). **Storage of Cereal Grains and their Products**. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 1992. p.435-491.
- SCHÖLLER, M.; PROSELL, S.; AL-KIRSHI, A.G.; REICHMUTH, C. H. Towards Biological Control as a Major Component of Integrated Pest Management in stored Product Protection. **Journal of Stored Products Research**, v.33, n.1, p.81-97, 1997.
- SINHA, R. N. The stored-grain ecosystem. In: Jayas, D., White, N. D. G., Muir, W. E. (eds.). **Stored-Grain Ecosystems**. New York, NY: M. Dekker, 1995. p.1-33.
- STATISOFT, Inc. STATISTICA for Windows, release 4.2. 1993.
- THRONE, J. E. Life history of immature maize weevils *Sitophilus zeamais* Motschulsky (Coleoptera: Curculionidae) on corn stored at constant temperatures and relative humidities in the laboratory. **Environmental Entomology**, v.23, n.6, p.1459-1471, 1994.
- WHITE, N. D. G. Insects, mites and insecticides in stored-grain ecosystems. In: Jayas, D., White, N. D. G., Muir, W. E. (eds.). **Stored-Grain Ecosystems**. New York, NY: M. Dekker, 1995. p.256-288.

6. NÍVEIS ECONÔMICOS PARA O MANEJO INTEGRADO DE *Sitophilus zeamais* (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE) e *Rhyzopertha dominica* (COLEOPTERA: BOSTRICHIDAE) EM TRIGO ARMAZENADO

6.1. RESUMO

Desenvolveram-se as ferramentas Nível de Dano Econômico (NDE) e Nível de Ação (NA) para o controle de *S. zeamais* e *R. dominica*, por fumigação e por aeração, em trigo armazenado. Diferentes tipos de perdas econômicas foram consideradas: em danos por inseto, em peso hectolítrico e em matéria seca. Para ambas as espécies, o NDE foi de 0,004 inseto/kg no controle por fumigação e de 0,0023 inseto/kg no controle por aeração, com uma vazão específica de 10 m³/h/m³. Com uma vazão específica de 20 m³/h/m³ no controle por aeração, o NDE foi de 0,0059 inseto/kg para ambas as espécies. Partindo de uma infestação inicial de 0,001 inseto/kg, o NA para o controle de *S. zeamais* com fumigação foi de 0,0024 inseto/kg a 20 °C, 0,0025 inseto/kg a 24 °C e 0,0022 inseto/kg a 28 °C, o que corresponde, respectivamente, a 164,3, 111,6 e 16,7 dias após a detecção daquela infestação. Para *R. dominica*, o NA para o controle com fumigação foi de 0,0025 inseto/kg a 20 °C, 0,0029 inseto/kg a 24 °C e 0,001 inseto/kg a 32 °C, o que corresponde respectivamente a 118,3, 39,6 e 0 dias após a detecção daquela infestação.

PALAVRAS-CHAVE: *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus zeamais*, trigo armazenado, nível de dano econômico, nível de ação.

6.2. ABSTRACT

Economic injury levels (EIL) and action thresholds (AT) were developed for control of *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) and *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) with fumigation and aeration methods, in stored wheat. It was evaluated different types of economic losses: percent weight loss of insect damaged kernels, test weight per hectoliter and dry matter loss of grain mass. For both species, the EIL was 0,004 insects/kg for fumigation control and 0.0023 insects/kg for aeration control at specific airflow rate of 10 m³/h/m³. With aeration at 20 m³/h/m³, the EIL was 0.0059 insects/kg for both species. Departing from an initial infestation of 0.001 insects/kg, the NA for control of *S. zeamais* with fumigation was 0.0024 insects/kg at 20 °C, 0.0025 insects/kg at 24 °C and 0.0022 insects/kg at 28 °C, which corresponds respectively to 164.3, 111.6 and 16.7 days after detection. For *R. dominica*, the NA for control with fumigation was 0.0025 insects/kg at 20 °C, 0.0029 insects/kg at 24 °C and 0.001 insects/kg at 32 °C, which corresponds respectively to 118.3, 39.6 and 0 days after detection.

KEY WORDS: *Rhyzopertha dominica*, *Sitophilus zeamais*, stored wheat, economic-injury level, action threshold

6.3. INTRODUÇÃO

Perdas econômicas devidas a insetos de grãos armazenados e gastos desnecessários no manejo desses insetos podem ser evitados, utilizando-se o monitoramento de insetos e ferramentas para tomada de decisão, tais como limites econômicos, modelos preditivos e sistemas especialistas para determinar o melhor momento de controlar populações de pragas. Pesquisas sobre monitoramento de insetos e ferramentas para a tomada de decisão ajudam a desenvolver programas de manejo integrado de pragas (MIP), além de auxiliar na pesquisa de métodos de controle (HAGSTRUM e SUBRAMANYAN, 2000).

A ferramenta básica para a tomada de decisão no MIP é o Nível de Dano Econômico (NDE), definido como a densidade populacional da praga em que o dano causado equivale ao custo de determinado método de controle (STERN *et al.*, 1959). MUMFORD e NORTON (1984) foram os primeiros a definir esse conceito matematicamente com a equação

$$NDE = \frac{C}{PKD}, \quad (1)$$

em que

- NDE = nível de dano econômico (inseto/kg grão)
- C = custo de determinado controle (ex.: \$/t grão);
- P = preço do produto (ex.: \$/t grão);
- K = eficiência do controle ou a proporção do ataque reduzida pelo controle (%);
- D = perda econômica por unidade de ataque da praga (ex.: kg grão/inseto, % grãos danificados por insetos/inseto, t/ha/ovo, % desfolha/lagarta, etc.).

Segundo PEDIGO *et al.* (1986), a variável D, como é usada, é convenientemente obtida por análises de regressão. Os coeficientes *b* resultantes de tais análises são as perdas por inseto. Assim, a Equação 1 pode ser escrita como

$$NDE = \frac{C}{PKb} \quad (2)$$

em que b é o estimador do coeficiente b da equação.

Considerando-se que quanto menor for a eficiência do método de controle, menor deverá ser o NDE, a Equação 2 foi modificada para

$$NDE = \frac{C}{PK^{-1}b} \quad (3)$$

Os insetos consomem grande parte da massa de grãos, causando uma perda quantitativa, mas também causam perda em qualidade, pois favorecem a respiração dos grãos e o desenvolvimento de fungos, contaminam os grãos com exúvias, excrementos e outros despojos, aumentam os níveis de ácidos graxos livres, contaminam com ácido úrico, empobrecem o rendimento e a qualidade das farinhas e outros subprodutos dos grãos (PEDERSEN, 1992; FARONI, 1995; WHITE, 1995). Os mercados nacionais e internacionais de grãos avaliam indiretamente o efeito de infestações de insetos sobre a qualidade dos grãos por meio do “percentual de grãos danificados por insetos” e “peso hectolítrico” (USDA - FGIS, 1988; BRASIL, 1999). Por isso, é importante avaliar o efeito das perdas em qualidade sobre o NDE.

O controle de insetos de grãos armazenados por fumigação é o método mais usado, mas a aeração é o método alternativo mais indicado para substituir ou complementar o controle químico. No Brasil, toda a Região Sul mais o Estado de São Paulo apresentam condições favoráveis à aeração (SINÍCIO e MUIR, 1995). O resfriamento também é possível em regiões quentes desde que exista uma estação fria, ainda que com curta duração ou poucas horas favoráveis no período noturno. Nesse tipo de clima, a aeração deve ser praticada com vazões de ar elevadas, para que o resfriamento possa ser alcançado em menor período de tempo (CALDERON, 1973; PUZZI, 1986). Como há um NDE para cada método de controle, é importante determinar o NDE para a fumigação e para a aeração.

Outra ferramenta para o MIP, baseada no NDE, é o Nível de Ação (NA) ou Nível de Controle, que é a densidade de insetos em que o controle deve ser aplicado para evitar que a população alcance o NDE. O NA permite retardar a aplicação de medidas de controle e avaliar o tempo necessário para que as

medidas de controle reduzam a densidade do inseto (ONSTAD, 1987). O NA também é uma medida de densidade populacional, pois prediz os danos baseado nesta densidade e, a não ser que se tenha um modelo matemático de como os danos e/ou a população da praga crescem, não é possível ter uma descrição matemática do NA. Há pelo menos um NA para cada método de controle. A maioria dos autores é unânime em recomendar a aeração como um método essencialmente preventivo, devendo ser iniciada junto com a armazenagem. No caso da necessidade de aplicar novos períodos de aeração ou integrar a aeração com outros métodos de controle, o NA para a aeração pode ser de grande utilidade.

O objetivo deste trabalho é apresentar o NDE e o NA como ferramentas para o controle das pragas *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) e *Rhyzopertha dominica* (Fabricius) em trigo armazenado, relativos a dois métodos de controle, por fumigação e por aeração, e relativos a três fatores de perdas diferentes, perda em “matéria seca” (perda quantitativa), perda em “danos por inseto” e perda em “peso hectolítrico” (perdas qualitativas).

6.4. MATERIAL E MÉTODOS

6.4.1. Cálculo do NDE

Utilizou-se a Equação 3 para calcular o NDE. Quanto aos custos de controle por fumigação no Brasil, as empresas especializadas em serviços fitossanitários cobram os valores médios de US\$ 0,31/t a granel e US\$ 0,57/t ensacada (volumes superiores a 10.000 t). A maioria dessas empresas não cobra valores diferenciados por tipo de grão ou por tipo de unidade armazenadora, apesar dos maiores cuidados necessários com grãos de arroz e com unidades armazenadoras dotadas de sistemas de termometria e aeração. Neste trabalho, adotou-se o valor médio de US\$ 0,44/t.

Os custos de controle por aeração constituem-se apenas do custo da eletricidade, pois há pouco ou nenhum custo de manutenção em sistemas de aeração por um período de 10 anos, e os custos com ganho e perda de água são mínimos se a aeração for bem feita (REED e ARTHUR, 2000). Segundo LASSERAN (1981), o consumo de eletricidade na aeração varia com a vazão específica adotada e com a altura da célula de aeração. Para a vazão específica mais usada, de $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$, o consumo específico unitário para o trigo varia de 0,71 a 3,15 kWh/t (Quadro 1).

Quadro 1. Consumo específico de energia elétrica (kWh/t) para aeração de trigo em relação à altura da célula e à vazão específica.

Vazão Específica	Altura da célula de aeração		
	10 m	15 m	20 m
$10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$	0,71	1,69	3,15
$20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$	1,57	3,88	7,51

Fonte: LASSERAN (1981).

Com a tarifa elétrica industrial atual de R\$ 0,20/kWh (US\$ 0,0888/kWh), o custo da aeração está variando de 0,06 a 0,28 US\$/t de trigo, para a vazão específica de $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$. Para as análises desta pesquisa, adotou-se o valor mais elevado, de 0,28 US\$/t de trigo. Em outra referência

sobre custos da aeração no Brasil, estudaram-se diferentes condições de aeração em oito capitais brasileiras, e o melhor método de controle do ventilador, por termostato diferencial, implicou custos de aeração de 0,10 a 0,58 dólares por tonelada de trigo (SINÍCIO e MUIR, 1995).

Para o preço do trigo, adotou-se o valor de US\$105,71/t de grãos, preço mínimo de comercialização do trigo nacional, classe Pão, tipo 1, estabelecido pelo governo brasileiro. Este preço mínimo varia de safra para safra e de tipo para tipo, mas só é válido para trigo com umidade máxima de 13%, base úmida. Por isso, para se calcular o NDE relativo à perda de matéria seca, foi preciso, antes, calcular o preço por tonelada de matéria seca. Em 1t de grãos, há 0,13 t de água e 0,87 t de matéria seca. Para efeito de comercialização, considerou-se que o preço de US\$ 105,71 se refere a 0,87 t de matéria seca, portanto, o preço de 1 t de matéria seca é US\$ 121,50.

Quanto à eficiência, variável K da Equação 3, qualquer método de controle de insetos de grãos armazenados tem eficiência extremamente variável e raramente, ou nunca, atinge 100%. O controle químico por fumigação, talvez o mais eficiente desses métodos, tem sua eficiência afetada pela temperatura, pela umidade do ar, pelo tempo de exposição, pela dosagem, pelo procedimento de aplicação, pela formulação, pela estrutura de armazenagem, pela aeração, pelas características da população de insetos e até características da massa de grãos (HAREIN e DAVIS, 1992). Como não se encontrou referência na literatura científica, adotou-se o valor arbitrário de 90% para fumigação com fosfina. Quanto ao método de controle por aeração, LONGSTAFF (1981) realizou simulações com *S. oryzae*, comparando o efeito da aeração com a mortalidade causada por tratamento com inseticida, e verificou que a redução da temperatura de 27 °C para 18 °C causou um prejuízo ao crescimento populacional comparável a uma mortalidade por inseticida de 83%, valor adotado como eficiência do controle por aeração.

Quanto às perdas em trigo armazenado, utilizou-se dos modelos de perda apresentados no Capítulo 5 desta tese. Os modelos têm a forma geral da Equação 4, cujos coeficientes para cada tipo de perda e para cada espécie estão no Quadro 2.

Os coeficientes *b* desses modelos foram usados na Equação 3 para se calcular o NDE relativo aos diferentes tipos de perda:

$$Y = a X^b \quad (4)$$

em que

Y = perda em umedecimento, danos por inseto, peso hectolítrico ou matéria seca;

X = população final de *S. zeamais* ou *R. dominica* (insetos adultos/kg de trigo);

a, b = coeficientes.

Quadro 2. Coeficientes da Equação 4 para cada tipo de perda e para cada espécie

	Coeficientes	
	a	b
Perdas causadas por <i>S. zeamais</i>		
Grãos danificados por inseto (% em massa)	0,030326	0,751632
Peso hectolítrico (kg/hl)	0,003153	0,936008
Matéria seca (%)	0,015782	0,730178
Perdas causadas por <i>R. dominica</i>		
Grãos danificados por inseto (% em massa)	0,045229	0,841781
Peso hectolítrico (kg/hl)	0,019809	0,762950
Matéria seca (%)	0,016538	0,814224

6.4.2. Cálculo do NA

Para o cálculo do NA, considerou-se o tempo de exposição necessário ao controle pelos diferentes métodos. A partir de modelos de crescimento populacional, estimou-se a densidade da praga que atingiria o NDE depois daquele período. O tempo de exposição e a velocidade do crescimento populacional variam dentro de limites que podem ser usados como referência para o MIP.

Na fumigação, o tempo de exposição necessário para eliminar uma população completamente varia de 3 a 7 dias (WHITE e LEESCH, 1996). Na aeração, o tempo para resfriar toda uma massa de grãos varia com a intensidade do fluxo de ar e com as condições climáticas, e é estimado em 60 a

160 horas de aeração para um fluxo, elevado, de 6 m³/h/t (PUZZI, 1986). Em outra referência, BROOKER *et al.* (1992) relatam que o tempo aproximado de aeração nos Estados Unidos, para um fluxo de ar de 0,1 m³/min/t, varia de 120 h na primavera a 200h no inverno. Porém, o tempo de aeração é dividido em períodos diários, usualmente noturnos, de aproximadamente 12 horas, o que representa de 5 a 13,4 dias para realizar de 60 a 160 horas de aeração. Nas análises desta pesquisa, adotou-se o valor de 13,4 dias.

Revisões realizadas por diversos autores concluem que, para a maioria dos insetos de grãos armazenados, o desenvolvimento populacional abaixo de 20 °C será lento (FIELDS e MUIR, 1996; REED e ARTHUR, 2000). Por isso, determinou-se os NA para as temperaturas de 20, 24 e 28 °C (ótima) para a espécie *S. zeamais* e 20, 24 e 32 °C (ótima) para a espécie *R. dominica*.

Para determinar os NA, partiu-se de uma infestação inicial de 0,001 inseto/kg, e os modelos de crescimento populacional utilizados foram aqueles apresentados no Capítulo 3 desta tese: para *R. dominica*, nas temperaturas de 20, 24 e 32 °C, Equações 9, 10 e 11 respectivamente; e para *S. zeamais*, nas temperaturas de 20, 24 e 28 °C, Equações 12, 13 e 14 respectivamente, apresentados no Capítulo 4 desta tese:

$$z = [0,00000014 \cdot 75418x \cdot \exp(0,09580736 x)]y + y \quad (9)$$

$$z = [0,00726295 \cdot 5x \cdot \exp(0,04717486 x)]y + y \quad (10)$$

$$z = \left\{ \frac{(0,166621x)}{[0,00081 + 0,450429 \exp(-0,1013217x)]} \right\} \cdot (0,166618y^{0,521172}) + y \quad (11)$$

$$z = [0,00062004 x \cdot \exp(0,09842413 x)] \cdot (0,0004413y^{1,838337}) + y \quad (12)$$

$$z = [0,0141423x \cdot \exp(0,09259571x)] \cdot (0,009419201y^{1,831887}) + y \quad (13)$$

$$z = [0,0965838x \cdot \exp(0,08190292x)] \cdot (0,09317603y^{0,898213}) + y \quad (14)$$

em que

Z = população final de *S. zeamais* (insetos adultos/kg de trigo) predita;

X = tempo de armazenagem (dia);

Y = população inicial ou nível de infestação inicial de *S. zeamais*;

6.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Usando a Equação 3, calculou-se o NDE para todas as condições (Quadro 3). Como exemplos, a seguir são apresentados os cálculos para o controle de *S. zeamais* por fumigação em relação às perdas em danos por insetos e em matéria seca:

$$NDE_{\text{dano}} = \frac{0,44}{105,71 \times \frac{1}{0,9} \times 0,751632} = 0,0050 \text{ inseto/kg}$$

$$NDE_{\text{ms}} = \frac{0,44}{121,50 \times \frac{1}{0,9} \times 0,73017} = 0,0045 \text{ inseto/kg}$$

Quadro 3. NDE (insetos adultos/kg) relativos a diferentes tipos de perda, causadas pelas espécies *S. zeamais* e *R. dominica*, e para diferentes tipos de controle, fumigação com fosfina e aeração

Tipos de perda	<i>S. zeamais</i>			<i>R. dominica</i>		
	Fumigação	Aeração (m³/h/m³)		Fumigação	Aeração (m³/h/m³)	
		10	20		10	20
Dano *	0,005	0,0029	0,0073	0,0045	0,0026	0,0065
PH **	0,004	0,0023	0,0059	0,0049	0,0029	0,0072
MS ***	0,0045	0,0026	0,0065	0,004	0,0023	0,0059

* Dano causado por insetos.

** Peso hectolítrico.

*** Matéria seca.

Para a tomada de decisão, deve ser considerado o menor NDE, ou seja, o menor valor entre danos por inseto, peso hectolítrico e matéria seca. No Quadro 3, observa-se que, coincidentemente para ambas as espécies, o NDE é 0,004 inseto/kg no controle por fumigação e 0,0023 inseto/kg no controle por aeração, com uma vazão específica de 10 m³/h/m³. São infestações cuja probabilidade de detecção em amostragens usuais é muito baixa (HAGSTRUM e SUBRAMANYAM, 2000). SANTOS (1999) encontrou um NDE de

0,33 inseto/kg de trigo para o controle de *S. zeamais* por fumigação. Essa grande diferença entre os resultados se deve a diferenças na fórmula (Equação 3) e nos valores usados. Em 1999, o valor do trigo era US\$ 118,26/t e o custo da fumigação era US\$ 0,40/t. Outra importante conclusão sobre os resultados do Quadro 3 é que o NDE para o controle por aeração pode ser menor que o NDE por fumigação, à semelhança do que ocorre com os custos desses métodos de controle.

Quanto aos NA, os resultados para *S. zeamais* e *R. dominica* estão nos Quadros 4 e 5, respectivamente.

Quadro 4. Tempo (dias) para a população de *S. zeamais* atingir o NDE e o NA, em diferentes temperaturas e com diferentes métodos de controle, partindo de uma infestação de 0,001 inseto/kg de trigo

<i>S. zeamais</i> - fator de perda: danos por inseto						
Método de controle	temperatura (°C)	Tempo (NDE)	Pi * (Inseto/kg)	Pf * (NDE) (Inseto/kg)	Tempo (NA)	Pf (NA) (Inseto/kg)
fumigação	20	174	0,001	0,005	167	0,0029
fumigação	24	121,5	0,001	0,005	114,5	0,003
fumigação	28	26	0,001	0,005	19	0,0026
aeração	20	167	0,001	0,0029	153,6	0,0015
aeração	24	114	0,001	0,0029	100,6	0,0015
aeração	28	20	0,001	0,0029	6,6	0,0012

<i>S. zeamais</i> - fator de perda: peso pectolítico						
Método de controle	temperatura (°C)	Tempo (NDE)	Pi (Inseto/kg)	Pf (NDE) (Inseto/kg)	Tempo (NA)	Pf (NA) (Inseto/kg)
fumigação	20	171,3	0,001	0,004	164,3	0,0024
fumigação	24	118,6	0,001	0,004	111,6	0,0025
fumigação	28	23,7	0,001	0,004	16,7	0,0022
aeração	20	163	0,001	0,0023	149,6	0,0013
aeração	24	110,5	0,001	0,0023	97,1	0,0013
aeração	28	17,5	0,001	0,0023	4,1	0,0011

<i>S. zeamais</i> - fator de perda: matéria seca						
Método de controle	temperatura (°C)	Tempo (NDE)	Pi (Inseto/kg)	Pf (NDE) (Inseto/kg)	Tempo (NA)	Pf (NA) (Inseto/kg)
fumigação	20	172,7	0,001	0,0045	165,7	0,0027
fumigação	24	120,3	0,001	0,0045	113,3	0,0027
fumigação	28	25	0,001	0,0045	18	0,0024
aeração	20	165	0,001	0,0026	151,6	0,0014
aeração	24	112,5	0,001	0,0026	99,1	0,0014
aeração	28	19	0,001	0,0026	5,6	0,0012

* Pi é a população inicial e Pf é a população final.

Por exemplo, para as perdas econômicas devidas aos danos causados por insetos, sob 20 °C, uma população inicial de *S. zeamais* de 0,001 inseto/kg levaria 174 dias para atingir o NDE da fumigação (Quadro 4). Uma fumigação de 7 dias deverá ser aplicada 7 dias antes de se atingir o NDE, ou seja, aos 167 dias, o que corresponde a uma população (NA) de 0,0029 inseto/kg.

Quadro 5. Tempo (dias) para a população de *R. dominica* atingir o NDE e o NA, em diferentes temperaturas e com diferentes métodos de controle, partindo de uma infestação de 0,001 inseto/kg de trigo

<i>R. dominica</i> - fator de perda: danos por inseto						
Método de controle	temperatura (°C)	Tempo (NDE)	Pi* (Inseto/kg)	Pf *(NDE) (Inseto/kg)	Tempo (NA)	Pf (NA) (Inseto/kg)
fumigação	20	126,7	0,001	0,0045	119,7	0,0027
fumigação	24	48,5	0,001	0,0045	41,5	0,0031
fumigação	32	1,75	0,001	0,0045	0	0,001
aeração	20	119	0,001	0,0026	105,6	0,0014
aeração	24	37,5	0,001	0,0026	24,1	0,0015
aeração	32	0,85	0,001	0,0026	0	0,001

<i>R. dominica</i> - fator de perda: peso hectolítrico						
Método de controle	temperatura (°C)	Tempo (NDE)	Pi (Inseto/kg)	Pf (NDE) (Inseto/kg)	Tempo (NA)	Pf (NA) (Inseto/kg)
fumigação	20	127,8	0,001	0,0049	120,8	0,0029
fumigação	24	50,3	0,001	0,0049	43,3	0,0034
fumigação	32	1,9	0,001	0,0049	0	0,001
aeração	20	121	0,001	0,0029	107,6	0,0015
aeração	24	40	0,001	0,0029	26,6	0,0017
aeração	32	1	0,001	0,0029	0	0,001

<i>R. dominica</i> - fator de perda: matéria seca						
Método de controle	temperatura (°C)	Tempo (NDE)	Pi (Inseto/kg)	Pf (NDE) (Inseto/kg)	Tempo (NA)	Pf (NA) (Inseto/kg)
fumigação	20	125,3	0,001	0,004	118,3	0,0025
fumigação	24	46,6	0,001	0,004	39,6	0,0029
fumigação	32	1,55	0,001	0,004	0	0,001
aeração	20	117	0,001	0,0023	103,6	0,0013
aeração	24	35	0,001	0,0023	21,6	0,0014
aeração	32	0,7	0,001	0,0023	0	0,001

* Pi é a população inicial e Pf é a população final.

Características importantes aparecem nos Quadros 4 e 5. Quando o NA for equivalente à população inicial de referência, o NDE e o NA devem ser avaliados como unidade de tempo. Por exemplo, para as perdas econômicas devidas à perda de peso hectolítrico, sob 28 °C, uma população inicial de *S. zeamais* de 0,001 inseto/kg levaria 17,5 dias para atingir o NDE da aeração. Uma aeração de 13,4 dias deverá ser aplicada 13,4 dias antes de se atingir o NDE, ou seja, aos 4,1 dias (NA), ainda que a densidade de 0,0011 inseto/kg indique um controle praticamente imediato, já no tempo zero. Outra característica importante: o valor “zero” na coluna “Tempo (NA)” indica que o controle deve ser aplicado imediatamente, mas também pode ser uma indicação de que já deveria ter sido aplicado.

Segundo HAGSTRUM e SUBRAMANYAN (2000), foram desenvolvidos NA para poucas espécies de insetos de grãos armazenados e as espécies *S. zeamais* e *R. dominica* não estão entre elas. No Brasil, também não foram encontradas pesquisas semelhantes, cujos resultados pudessem servir para comparações.

Avaliou-se o comportamento do NA em temperaturas constantes, obtendo-se valores de referência para o MIP. Em situações práticas, em que a temperatura da massa de grãos e a população inicial a ser considerada (primeira amostragem positiva) variam com o tempo, é necessário desenvolver um programa para simulação em computador, baseado na metodologia usada e com adaptações como o conceito de “graus-dia”.

Deve ser observado que a avaliação dos NA incorreu em valores preditos, que estão fora da faixa de validação dos modelos apresentados nos Capítulos 3 e 4 desta tese, ou seja, valores que estão acima de 90 dias de armazenagem e abaixo de 1,3 inseto/kg. Portanto, os resultados de NA apresentados podem não ser definitivos e servem como mais uma referência nessa linha de pesquisa, ainda pouco desenvolvida no Brasil.

6.6. CONCLUSÕES

Para ambas as espécies, o NDE é de 0,004 inseto/kg no controle por fumigação e de 0,0023 inseto/kg no controle por aeração, com uma vazão específica de $10 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$. Com uma vazão específica de $20 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^3$ no controle por aeração, o NDE é de 0,0059 inseto/kg para ambas as espécies.

O NDE para o controle por aeração pode ser menor ou maior do que o NDE por fumigação, à semelhança do que ocorre com os custos desses métodos de controle.

Partindo de uma infestação inicial de 0,001 inseto/kg, o NA para o controle de *S. zeamais* com fumigação é de 0,0024 inseto/kg a 20°C , 0,0025 inseto/kg a 24°C , e 0,0022 inseto/kg a 28°C , o que corresponde, respectivamente, a 164,3, 111,6 e 16,7 dias após a detecção daquela infestação. Para o *R. dominica*, o NA para o controle com fumigação, é de 0,0025 inseto/kg a 20°C , 0,0029 inseto/kg a 24°C e 0,001 inseto/kg a 32°C , o que corresponde respectivamente a 118,3, 39,6 e 0 dias após a detecção daquela infestação.

As análises dos NA para o controle das pragas mostraram que os modelos de crescimento populacional seriam mais apropriados se descrevessem um período de armazenagem de pelo menos 270 dias e infestações iniciais de 0 a 1 inseto/kg de grãos.

6.7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Norma de identidade e qualidade do trigo. Instrução Normativa nº.1, de 27 de janeiro de 1999. **Diário Oficial**, 29.01.99. 6p. 1999.
- BROOKER, D. B., BAKKER-ARKEMA, F. W., HALL, C. H. **Drying and storage of grains and oilseeds**. Westport, CT: AVI, 1992. 450p.
- CALDERON, M. Aeration of grain: benefits and limitations. *Tropical Stored Products Information*. v.25, p.6-7, 1973.
- FARONI, L. R. A. Pragas e métodos de controle. In: Silva, J. de S. **Pré-Processamento de Produtos Agrícolas**. Juiz de Fora, MG: Instituto Maria, 1995. 350p.
- FIELDS, P. G. and MUIR, W. E. Physical control. In: Subramanyam, B., Hagstrum, D.W. (eds.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**. New York, NY: M. Dekker, 1996. 426p.
- HAGSTRUM, D. W e SUBRAMANYAM, B. Monitoring and decisions tools. In: Subramanyam, B., Hagstrum, D. W. (eds.). **Alternatives to pesticides in stored-product IPM**. Massachusetts: Kluwer Academic, 2000. p.1-28.
- LASSERAN, J. C. **Aeração de grãos**. Viçosa, MG: Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem, 1981. 126p.
- LONGSTAFF, B. C. The manipulation of population growth of a pest species: an analytical approach. **Journal Applied Ecology**, n.18, p.727-736, 1981.
- HAREIN, P. K.; DAVIS, R. Control of stored-grain insects. In: Sauer, D. B. (ed.). **Storage of Cereal Grains and their Products**. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 1992. p.491-534.
- MUMFORD, J. D.; NORTON, G. A. Economics of a decision making in pest management. **Annual Reviews of Entomology**, v.29, p.157-174, 1984.
- ONSTAD, D. W. Calculation of economic-injury levels and economics thresholds for pest management. **Journal of Economic Entomology**, v.80, n.2, p.297-303, 1987.
- PEDERSEN, J. R. Insects: identification, damage and detection. In: Sauer, D. B. (ed.). **Storage of Cereal Grains and their Products**. St. Paul, MN: American Association of Cereal Chemists, 1992. p.435-491.
- PEDIGO, L. P.; HUTCHINS, S. H.; HIGLEY, L. G. Economics injury levels in theory and practice. **Annual Review of Entomology**, v.31, p.341-368, 1986.

- PUZZI, D. **Abastecimento e armazenagem de grãos**. Campinas, SP: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola. 1986. 603p.
- REED, C. e ARTHUR, F. H. Aeration. In: Subramanyam, B., Hagstrum, D. W. (eds.). **Alternatives to pesticides in stored-product IPM**. Massachusetts: Kluwer Academic, 2000. p.51-73.
- SANTOS, A. K. **Distribuição espacial e determinação do nível de dano econômico de *Sitophilus zeamais* (Motschulsky) (Coleoptera: Curculionidae) em trigo armazenado**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 60p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia Agrícola)
- SINÍCIO, R. e MUIR, W. E. Fluxos de ar e métodos de controle do ventilador recomendados para aerar trigo no Brasil. **Revista Brasileira de Armazenamento**, v.20, n.1/2, p.3-17, 1995.
- STERN, V. M.; SMITH, R. F.; VAN DEN BOSCH, R.; HAGEN, K. S. **The integrated control concept**, v.29, p.81-101. 1959.
- USDA - FGIS. **The official United States standards for grain**. Washington, DC: U. S. Dept. of Agriculture. Federal Grain Inspection Service. 1988. 58p.
- WHITE, N. D. G. Insects, mites and insecticides in stored-grain ecosystems. In: Jayas, D., White, N. D. G., Muir, W. E. (eds.). **Stored-Grain Ecosystems**. New York: M. Dekker, 1995. p.251-287.
- WHITE, N. D. G. and LEESCH, J. G. Chemical control. In: Subramanyam, B., Hagstrum, D.W. (eds.). **Integrated Management of Insects in Stored Products**. New York: M. Dekker, 1996. p.241-305.

7. CONCLUSÕES GERAIS

No estudo do crescimento populacional, concluiu-se que o maior crescimento populacional de *R. dominica* ocorreu na temperatura de 33,3 °C e diminuiu drasticamente nas temperaturas inferiores a 32 °C. As populações de *R. dominica* declinaram, mas não foram extintas em um período de 90 dias de armazenagem, sob 16 °C. Os modelos de crescimento populacional em função da temperatura e do tempo, foram deficientes em descrever um pequeno declínio populacional ao longo do tempo, na temperatura de 16 °C. Nos níveis de infestação inicial estudados, de 0 a 9,3 insetos/kg de trigo, quanto maior foi o nível de infestação inicial, maior foi o crescimento populacional de *R. dominica* ao longo do tempo de armazenagem. Comparados com os de outras pesquisas, os modelos obtidos superestimaram o crescimento populacional em períodos de armazenagem superiores a 45 dias, porque foram obtidos a partir de níveis de infestação inicial muito superiores.

Quanto à espécie *S. zeamais*, o maior crescimento populacional ocorreu a 28 °C e diminuiu drasticamente em temperaturas maiores ou menores que essa. Na temperatura de 36 °C, todas as populações foram extintas. Nos níveis de infestação inicial estudados, de 0 a 9,3 insetos/kg de trigo, quanto maior foi o nível de infestação inicial, maior foi o crescimento populacional de *S. zeamais*. O período de 90 dias de armazenagem, sob 16 °C, não foi suficiente para exterminar as populações de *S. zeamais* em todos os níveis de infestação estudados. Todos os modelos de crescimento populacional em função da temperatura e em função do nível de infestação inicial apresentaram um elevado coeficiente de determinação e descreveram o

sistema satisfatoriamente, porém apresentaram deficiências nas temperaturas extremas de 16 °C e 36 °C.

No estudo das perdas, concluiu-se que, para populações de mesmo tamanho, a espécie *R. dominica* mostrou-se a maior causadora de perdas em trigo armazenado do que a espécie *S. zeamais*. Essa diferença aumentou com o crescimento da população. Em infestações com 0 a 100 insetos/kg, para valores semelhantes de perda de matéria seca entre as espécies, as perdas com umedecimento, peso hectolítrico e grãos danificados foram, aproximadamente, duas vezes maior para *R. dominica*, em comparação com *S. zeamais*. Dentre os fatores de perda de qualidade e classificação comercial do trigo, o fator percentual de grãos danificados mostrou-se mais sensível ao crescimento populacional.

No estudo de níveis econômicos para manejo integrado, concluiu-se que, para ambas as espécies, o NDE é de 0,004 inseto/kg no controle por fumigação e de 0,0023 inseto/kg no controle por aeração, com uma vazão específica de 10 m³/h/m³. Com uma vazão específica de 20 m³/h/m³ no controle por aeração, o NDE é de 0,0059 inseto/kg para ambas as espécies. O NDE para o controle por aeração pode ser menor ou maior do que o NDE por fumigação, à semelhança do que ocorre com os custos desses métodos de controle. Partindo de uma infestação inicial de 0,001 inseto/kg, o NA para o controle de *S. zeamais* com fumigação é de 0,0024 inseto/kg a 20 °C, 0,0025 inseto/kg a 24 °C, e 0,0022 inseto/kg a 28 °C, o que corresponde, respectivamente, a 164,3, 111,6 e 16,7 dias após a detecção daquela infestação. Para o *R. dominica*, o NA para o controle com fumigação, é de 0,0025 inseto/kg a 20 °C, 0,0029 inseto/kg a 24 °C e 0,001 inseto/kg a 32 °C, o que corresponde respectivamente a 118,3, 39,6 e 0 dias após a detecção daquela infestação. As análises dos NA para o controle das pragas mostraram que os modelos de crescimento populacional seriam mais apropriados se descrevessem um período de armazenagem de pelo menos 270 dias e infestações iniciais de 0 a 1 inseto/kg de grãos.

APÊNDICES

APÊNDICE A

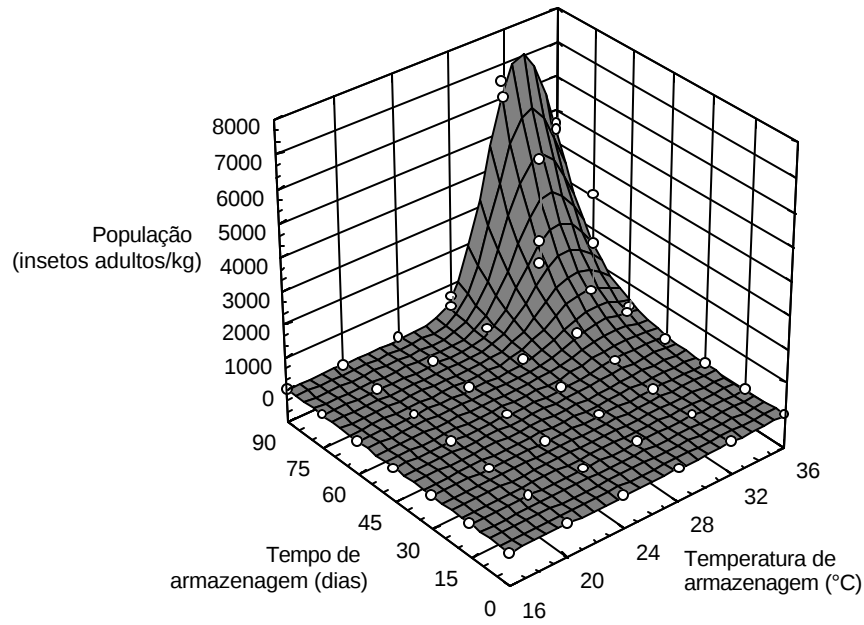


Figura 1A. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de uma infestação inicial de 1,33 insetos adultos/kg de trigo.

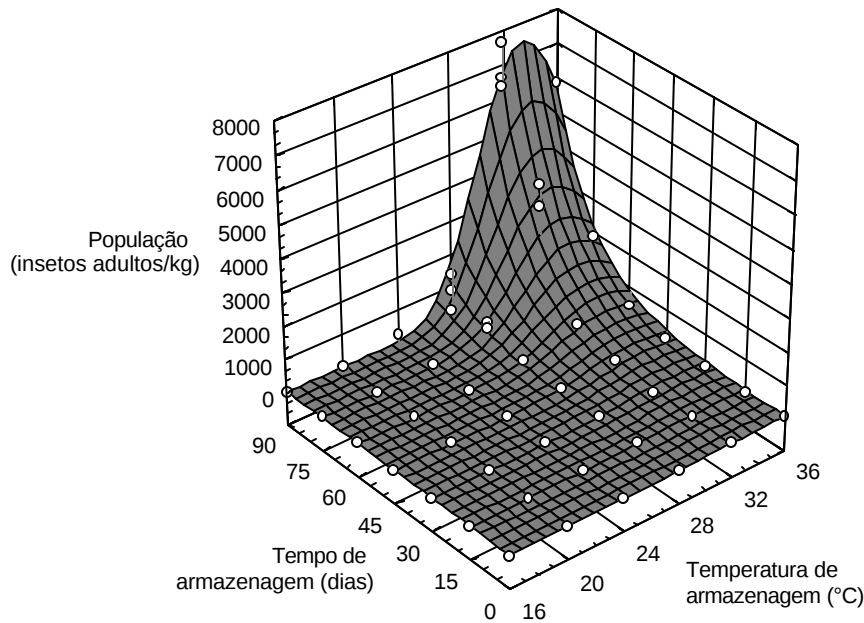


Figura 2A. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de uma infestação inicial de 2,67 insetos adultos/kg de trigo.

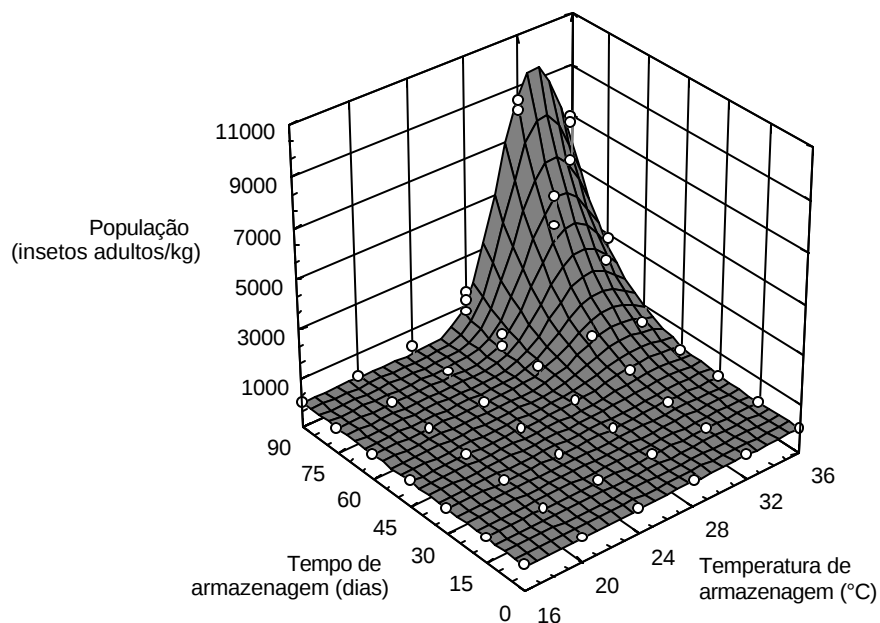


Figura 3A. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de uma infestação inicial de 4 insetos adultos/kg de trigo.

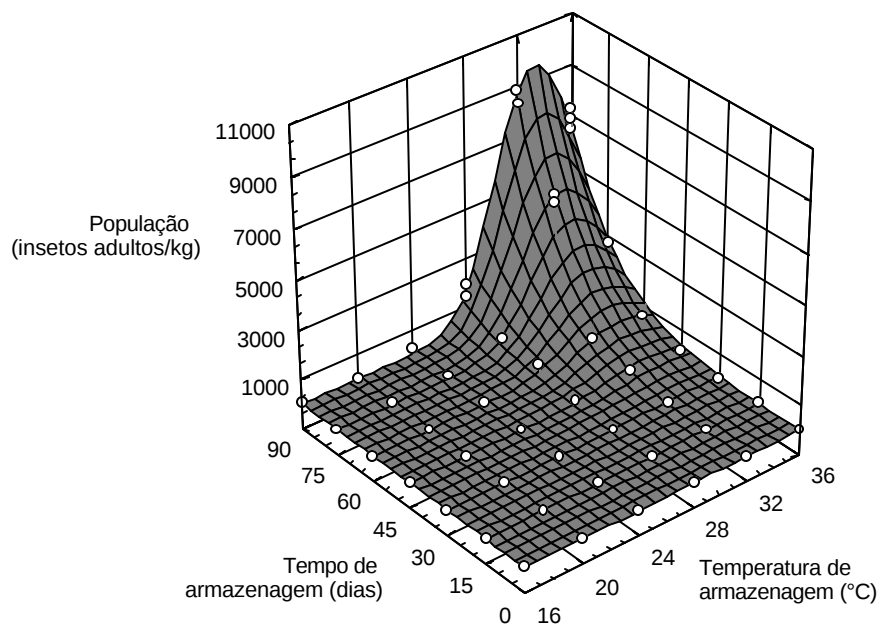


Figura 4A. Vabres observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de uma infestação inicial de 5,33 insetos adultos/kg de trigo.

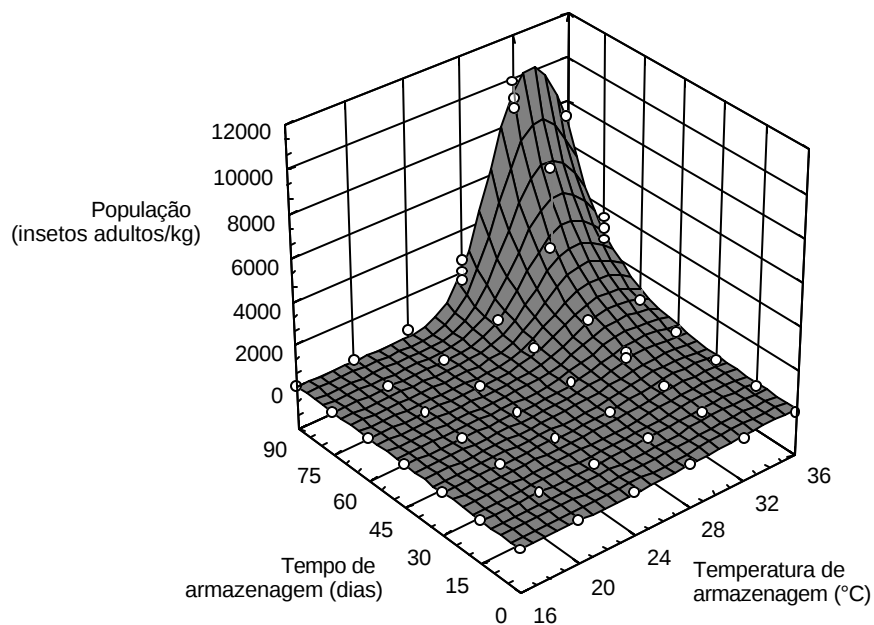


Figura 5A. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de uma infestação inicial de 6,67 insetos adultos/kg de trigo.

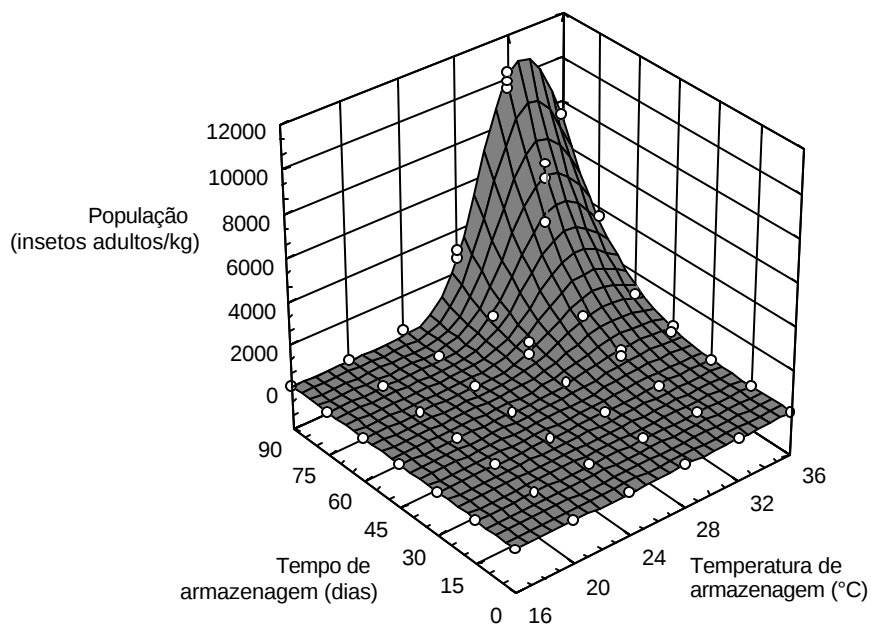


Figura 6A. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de uma infestação inicial de 8 insetos adultos/kg de trigo.

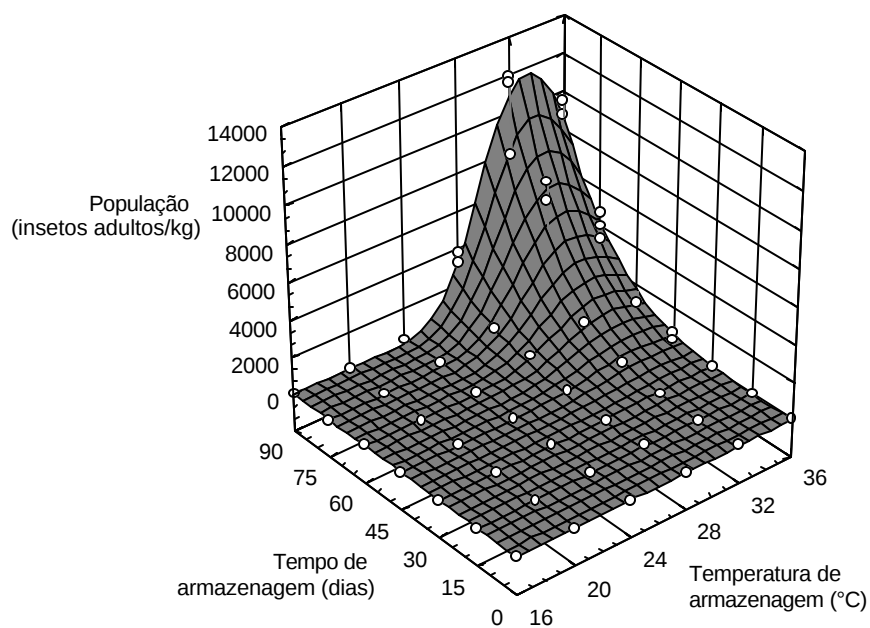


Figura 7A. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de uma infestação inicial de 9,33 insetos adultos/kg de trigo.

APÊNDICE B

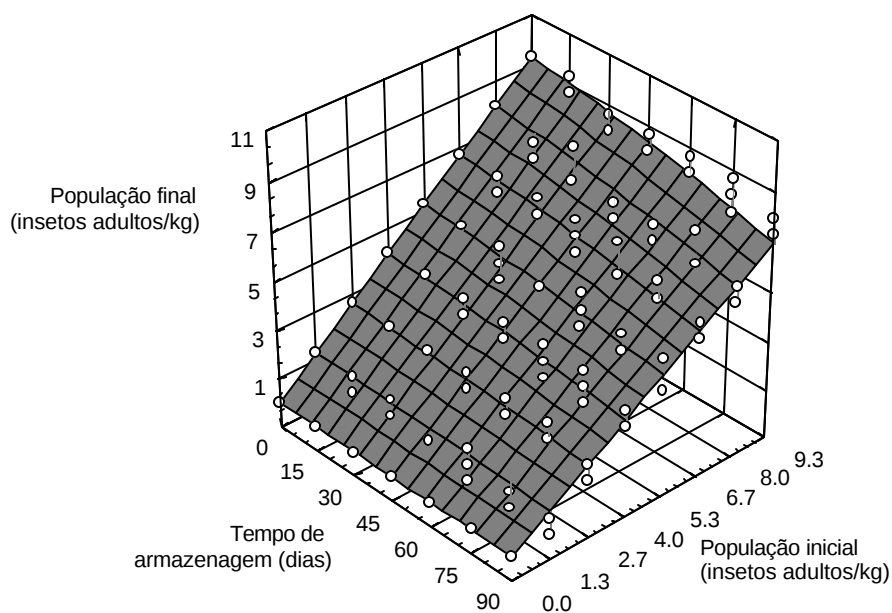


Figura 1B. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,33 insetos adultos/kg de trigo, em temperatura de 16°C.

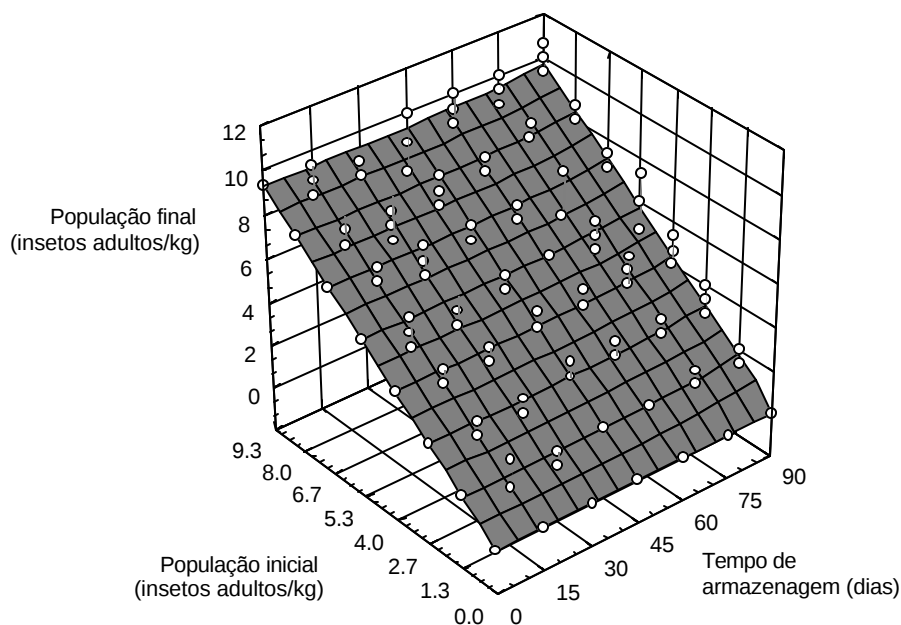


Figura 2B. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,33 insetos adultos/kg de trigo, na temperatura de 20°C.

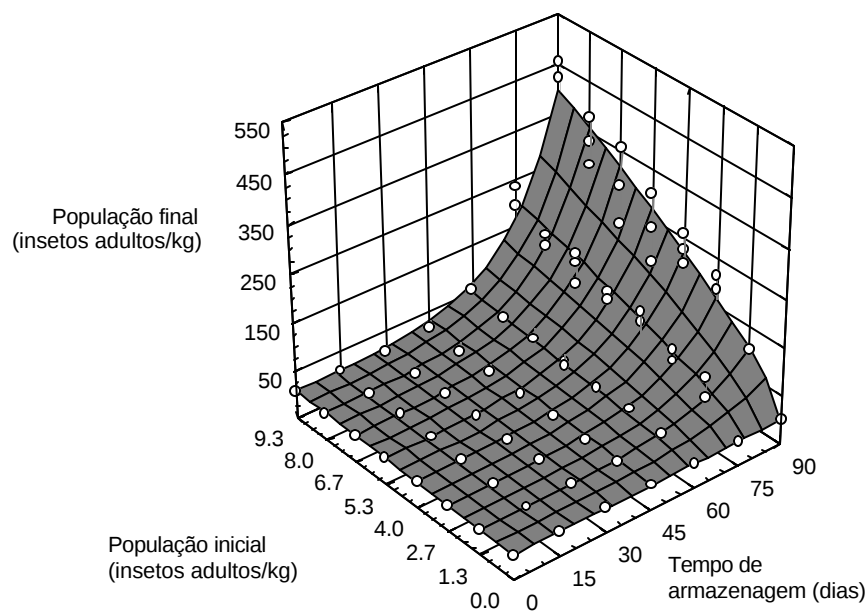


Figura 3B. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,33 insetos adultos/kg de trigo, na temperatura de 24°C.

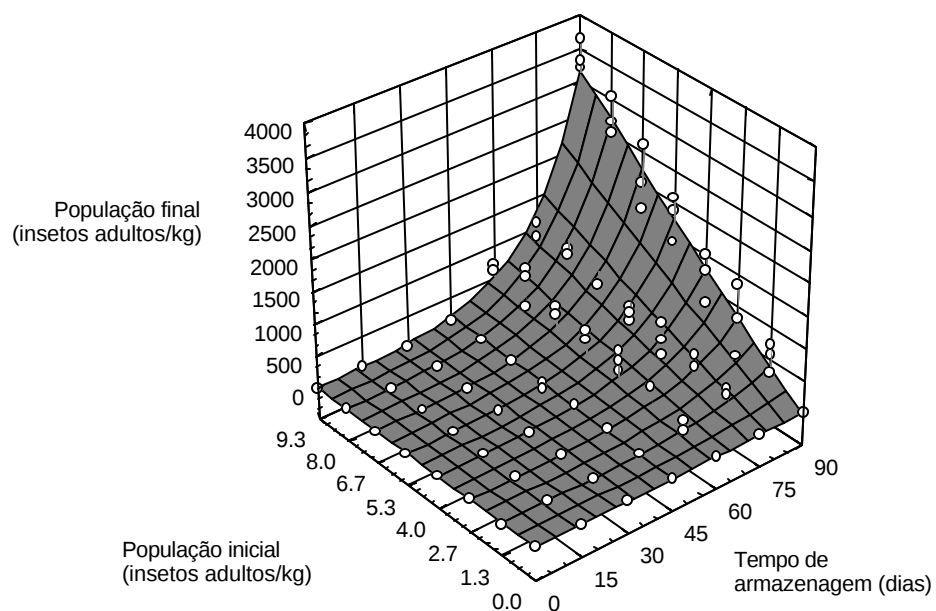


Figura 4B. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,33 insetos adultos/kg de trigo, na temperatura de 28°C.

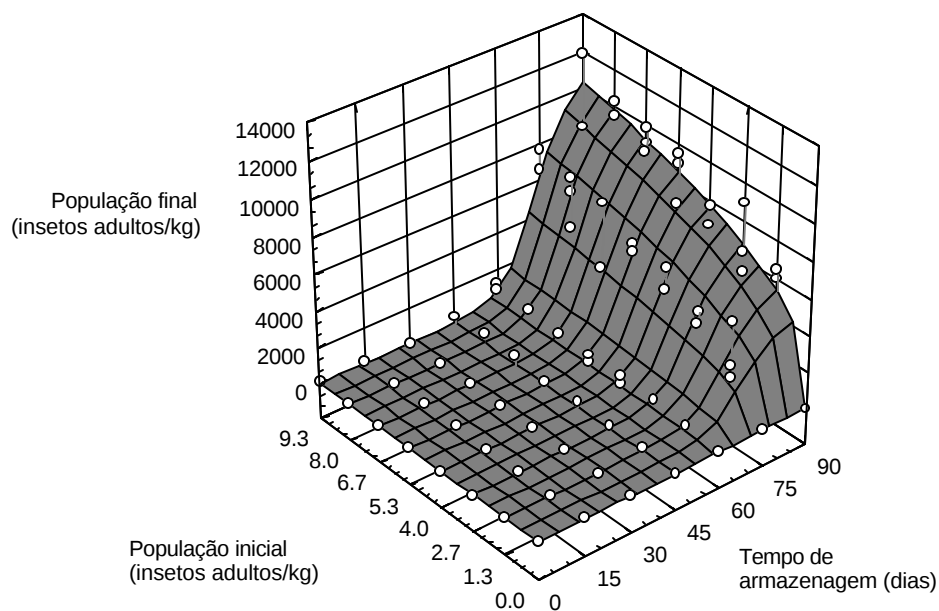


Figura 5B. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,33 insetos adultos/kg de trigo, na temperatura de 32°C.

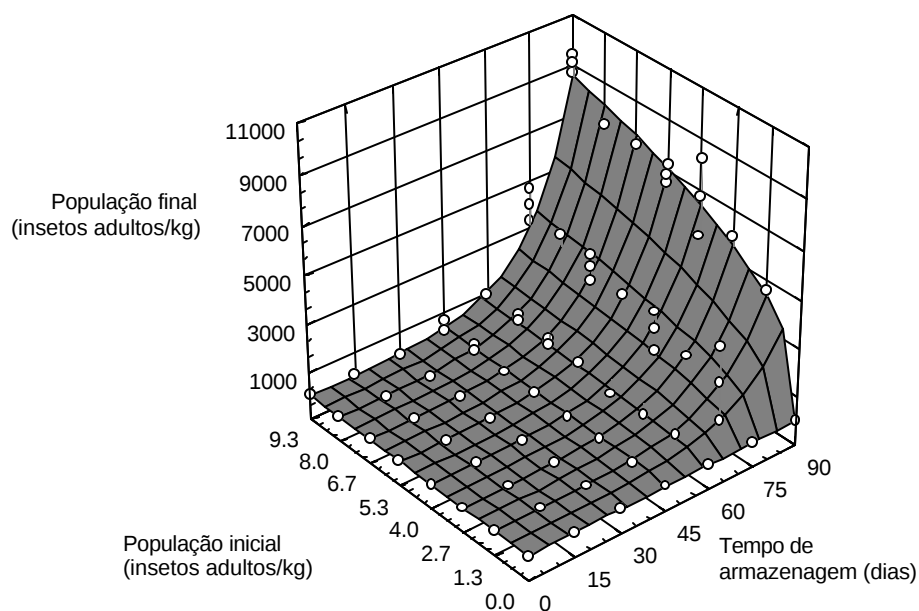


Figura 6B. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *R. dominica* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,33 insetos adultos/kg de trigo, na temperatura de 36°C.

APÊNDICE C

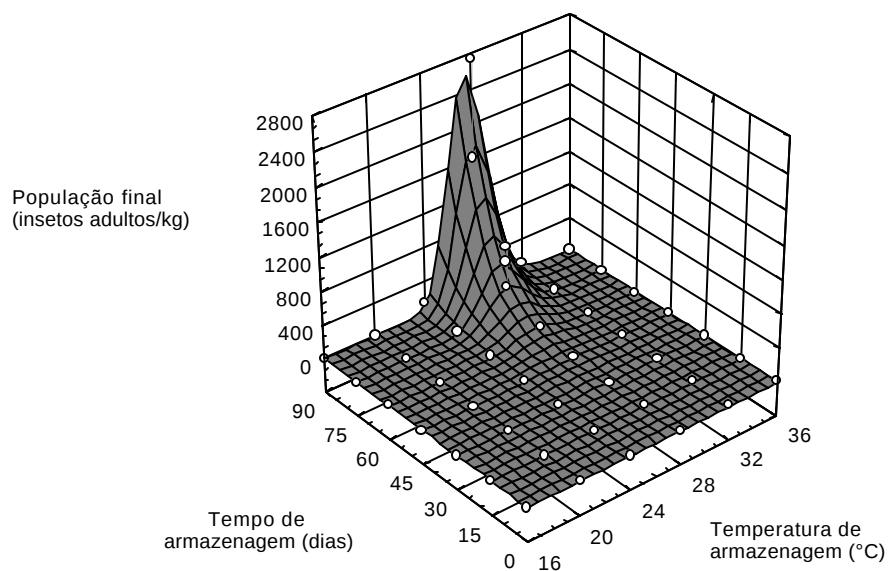


Figura 1C. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de uma infestação inicial de 1,33 insetos adultos/kg de trigo.

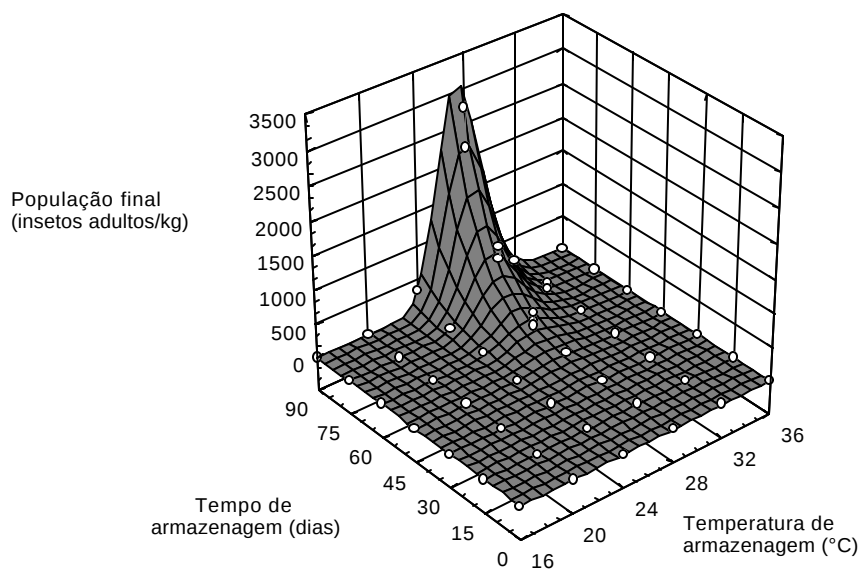


Figura 2C. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de uma infestação inicial de 2,67 insetos adultos/kg de trigo.

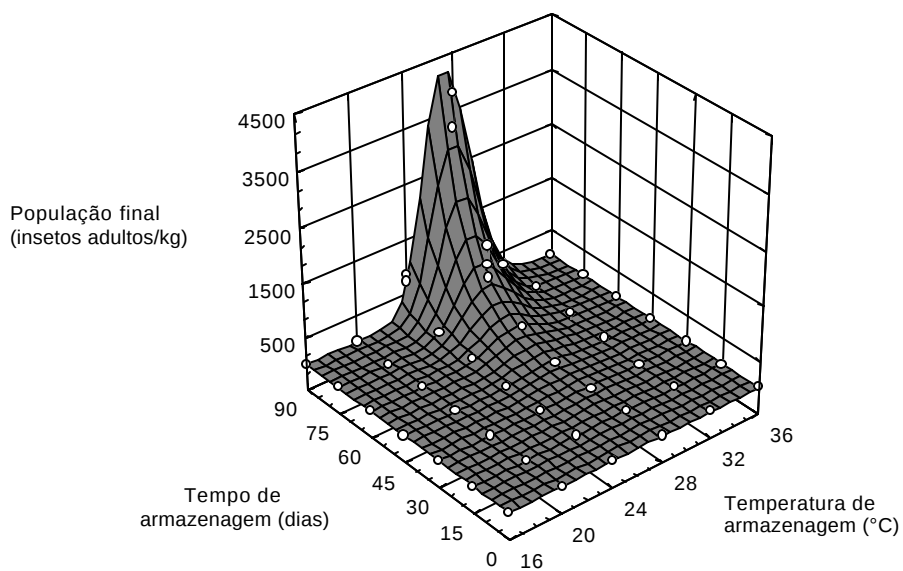


Figura 3C. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de uma infestação inicial de 4 insetos adultos/kg de trigo.

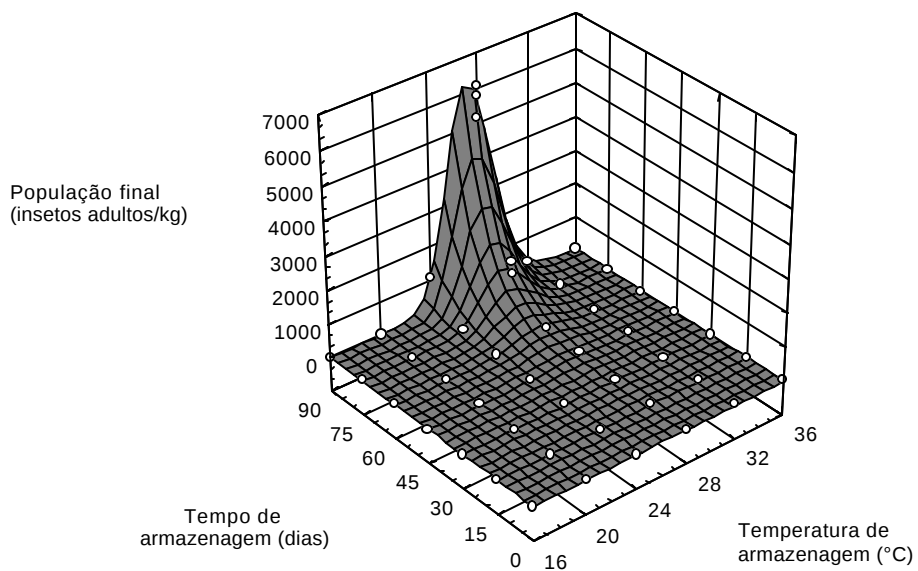


Figura 4C. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de uma infestação inicial de 5,33 insetos adultos/kg de trigo.

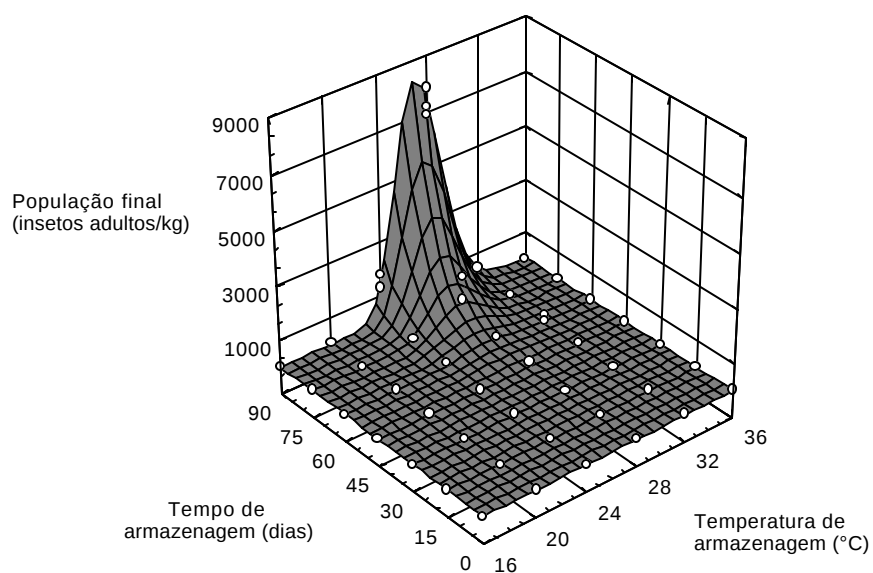


Figura 5C. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de uma infestação inicial de 6,67 insetos adultos/kg de trigo.

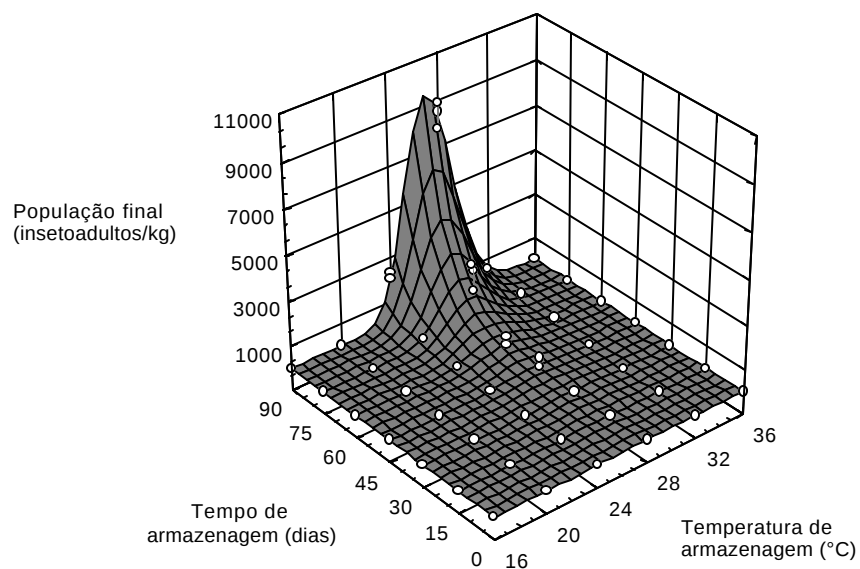


Figura 6C. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de uma infestação inicial de 8 insetos adultos/kg de trigo.

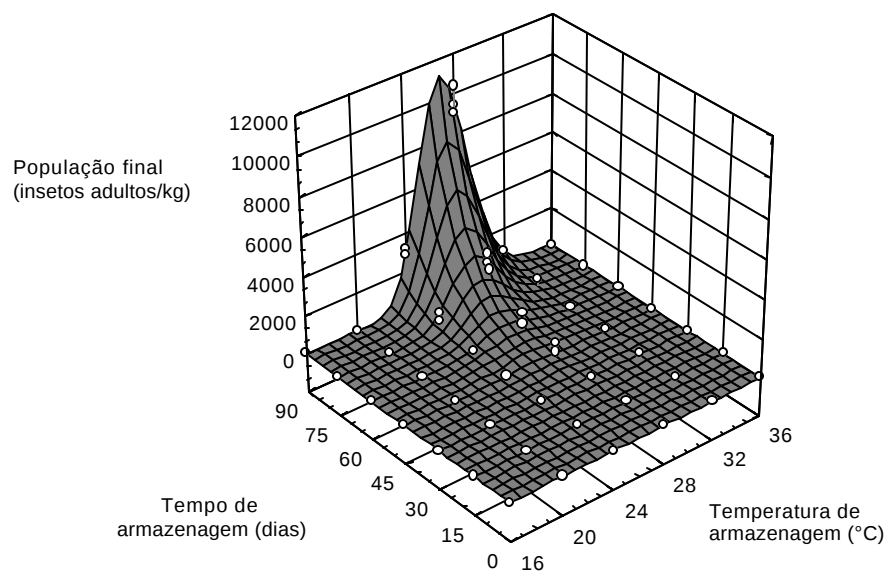


Figura 7C. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de uma infestação inicial de 9,33 insetos adultos/kg de trigo.

APÊNDICE D

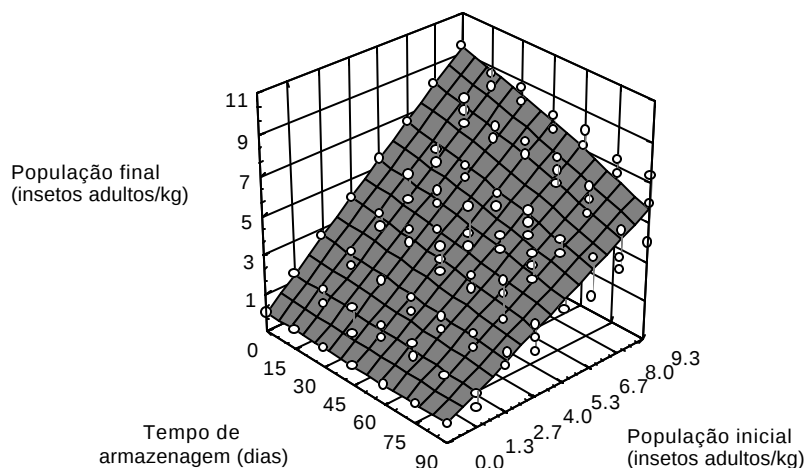


Figura 1D. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,33 insetos adultos/kg de trigo, em temperatura de 16°C.

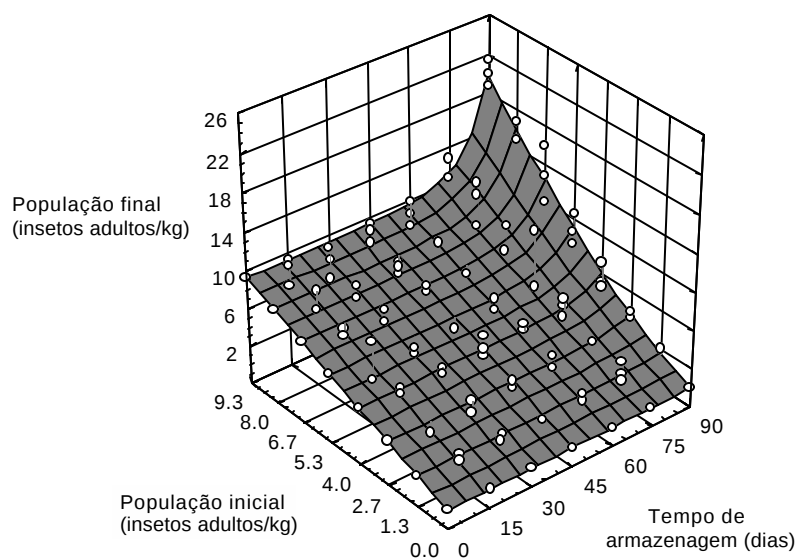


Figura 2D. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,33 insetos adultos/kg de trigo, em temperatura de 20°C.

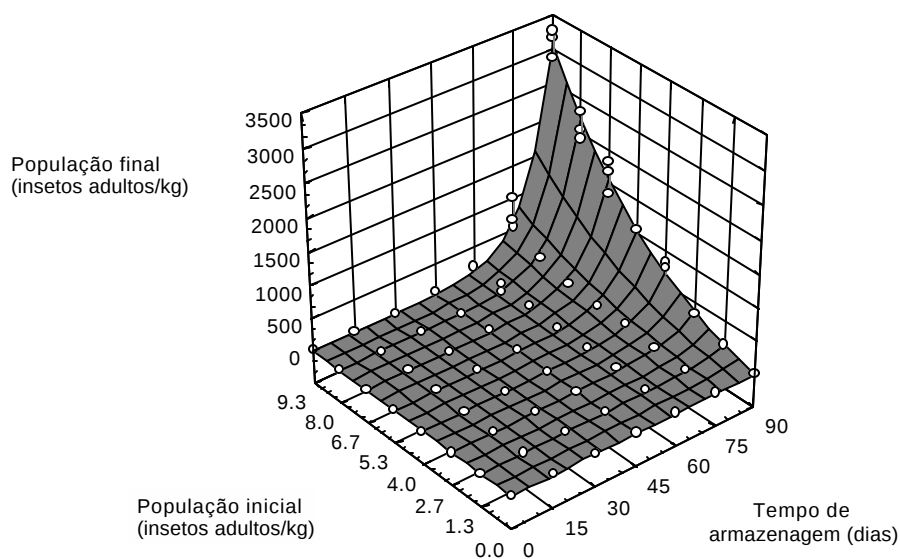


Figura 3D. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,33 insetos adultos/kg de trigo, em temperatura de 24°C.

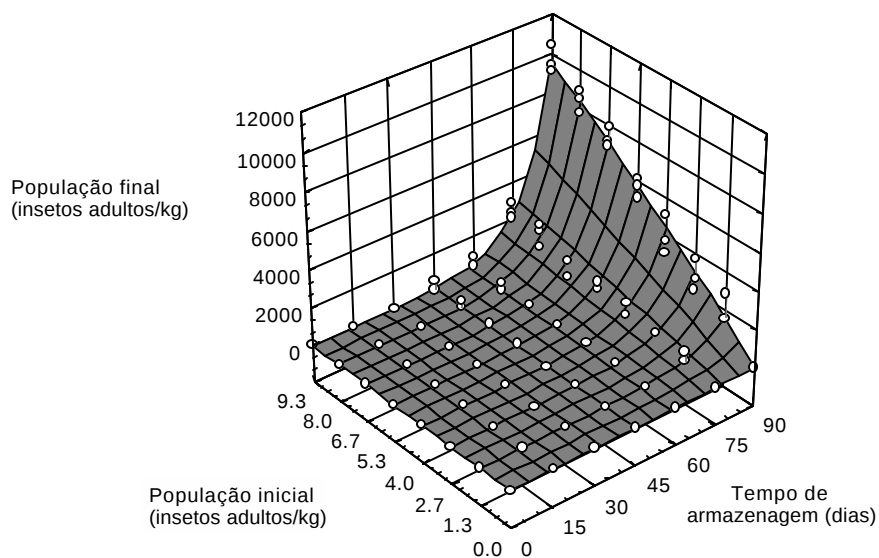


Figura 4D. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,33 insetos adultos/kg de trigo, em temperatura de 28°C.

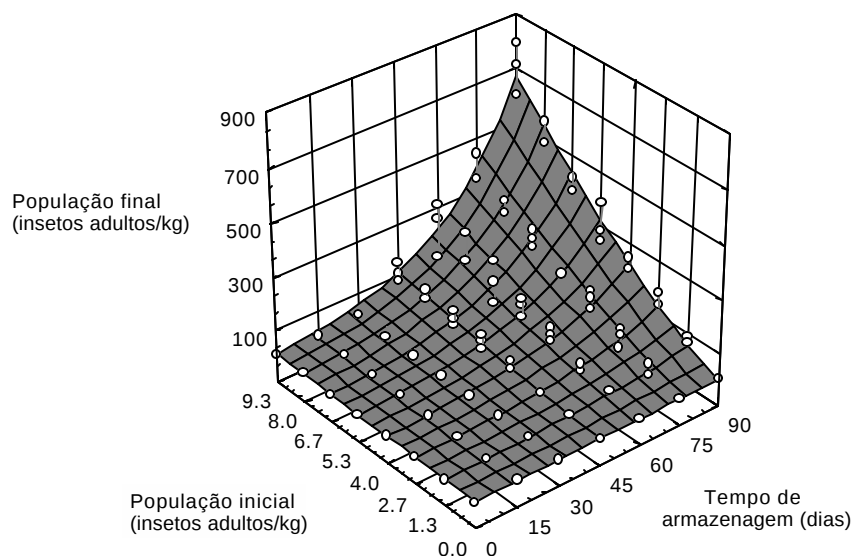


Figura 5D. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,33 insetos adultos/kg de trigo, em temperatura de 32°C.

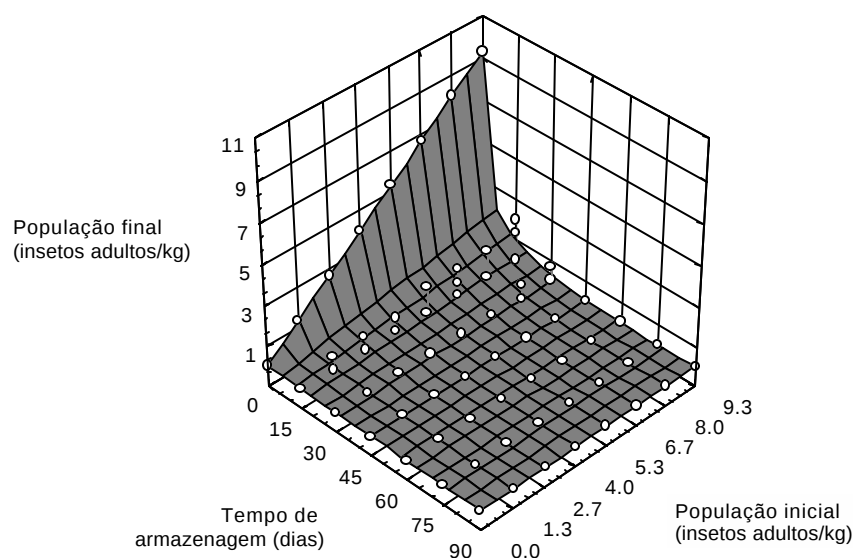


Figura 6D. Valores observados (círculos) e preditos (superfície de resposta) para o crescimento populacional de *S. zeamais* a partir de níveis de infestação inicial de 0 a 9,33 insetos adultos/kg de trigo, em temperatura de 36°C.