

Amanda Galvão Maciel

**DESINFESTAÇÃO DE *Callosobruchus maculatus* EM FEIJÃO
FRADINHO (*Vigna unguiculata*) POR TRATAMENTOS
TÉRMICOS E A VÁCUO**

Florianópolis
2019

Amanda Galvão Maciel

**DESINFESTAÇÃO DE *Callosobruchus maculatus* EM FEIJÃO
FRADINHO (*Vigna unguiculata*) POR TRATAMENTOS
TÉRMICOS E A VÁCUO**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia de
Alimentos da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do Grau
de Mestre em Engenharia de Alimentos.
Orientador: Prof. Dr. João Borges
Laurindo
Coorientador Prof. Dr. Bruno Augusto
Mattar Carciofi

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Maciel, Amanda Galvão

DESINFESTAÇÃO DE Callosobruchus maculatus EM
FEIJÃO FRADINHO (Vigna unguiculata) POR TRATAMENTOS
TÉRMICOS E A VÁCUO / Amanda Galvão Maciel ; orientador, João
Borges Laurindo, coorientador, Bruno Augusto Mattar
Carciofi, 2019.

92 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de
Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós
Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

1. Engenharia de Alimentos. 2. Desinfestação. 3. Insetos.
4. Grãos. 5. Tratamentos Físicos. I. Borges
Laurindo, João . II. Mattar Carciofi, Bruno
Augusto. III. Universidade Federal de Santa
Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de
Alimentos. IV. Título.

**“DESINFESTAÇÃO DE *Callosobruchus maculatus* EM
FELJÃO FRADINHO (*Vigna unguiculata*) POR
TRATAMENTOS TÉRMICOS E A VÁCUO”**

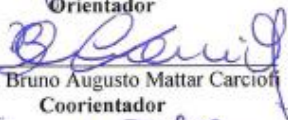
Por

Amanda Galvão Maciel

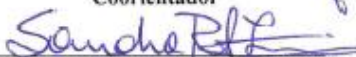
Dissertação julgada para obtenção do título de Mestre em Engenharia Alimentos, área de Concentração de Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.



Prof. Dr. João Borges Laurindo
Orientador

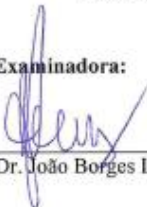


Prof. Dr. Bruno Augusto Mattar Carciofi
Coorientador



Prof. Dra. Sandra Regina Salvador Ferreira
Coordenadora

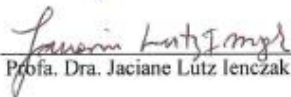
Banca Examinadora:



Prof. Dr. João Borges Laurindo



Prof. Dr. Carlos Peres Silva



Prof. Dra. Jaciane Lütz Ienczak

Florianópolis, 12 de março de 2019.

Este trabalho é dedicado à minha
família.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Ana Lucia Galvão e Cleber Noletto, pelo amor e apoio incondicional em todos os momentos da minha vida e por serem exemplos de força e dedicação. Sem vocês, nada disso seria possível.

Ao meu irmão João Cleber, pela amizade, apoio e ajuda durante toda a caminhada.

Ao meu namorado Heron Pereira, pelo companheirismo, carinho, paciência e compreensão. Por me incentivar e ajudar, estando sempre ao meu lado.

À toda a minha família, por sempre estarem me incentivando e torcendo pelo meu sucesso.

Ao meu orientador João Borges Laurindo e meu coorientador Bruno Augusto Mattar Carciofi, pela orientação, pelos conhecimentos transmitidos e confiança depositada na realização do trabalho.

Aos colegas de trabalho e amigos Ricardo Monteiro e Emanuelle Parisotto por toda a ajuda na execução do trabalho, tirando dúvidas, auxiliando desde o início dos experimentos até a finalização do trabalho. Obrigada pelo compromisso.

Ao Prof. Dr. Carlos Peres Silva pela parceria.

Ao colega de trabalho Theo Bräscher, pela paciência e grande ajuda durante todo o mestrado.

Aos amigos Lenilton, Edilberto e Jaqueline pela ajuda, conhecimento compartilhado e conselhos.

Aos meus amigos de pós-graduação Jaízia, Juliane, Marcela, Jéssica, Fabíola e Thayla pelo companheirismo e suporte durante a caminhada.

Aos colegas do PROFI, pela ajuda, seja na retirada de dúvidas, conselhos ou em momentos de descontração. Trabalhar com vocês é um grande prazer.

A Universidade Federal de Santa Catarina e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos pela oportunidade.

À CAPES pela bolsa de estudos.

Às minhas amigas de infância Luiza, Paola, Sarah e Nathália por tantos anos de amizade e por todo apoio em todas as decisões.

Aos meus amigos de graduação, Thiago Martins e Thâmila pela força.

À todos que de alguma forma contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

Grãos e cereais são extensivamente atacados e degradados por pragas durante a estocagem. O besouro *Callosobruchus maculatus*, popularmente conhecido como “caruncho”, é a principal praga em grãos de feijão fradinho (*Vigna unguiculata*) e de outros tipos de feijão, como o mungu e feijão azuki. Devido ao acúmulo de resíduos químicos nos grãos tratados com produtos químicos, métodos alternativos seguros e sustentáveis precisam ser avaliados. Neste estudo, tratamentos com aplicação do vácuo e aquecimento condutivo foram analisados como alternativas para a desinfestação de grãos de feijão. O presente trabalho teve como objetivos avaliar a morte do inseto-praga *C. maculatus* na fase adulta e a inativação de seus ovos submetidos a vácuo e ao aquecimento condutivo (por contato com chapa aquecida), assim como avaliar a qualidade física dos grãos após os tratamentos. A morte térmica de insetos adultos *C. maculatus* em aquecimento condutivo foi avaliada experimentalmente em condições isotérmicas. As temperaturas de 50 °C, 52 °C, 55 °C e 60 °C obtiveram os tempos de tratamento para a redução de 100% dos insetos de 35 min, 14 min, 3 min e 1 min, respectivamente. A desinfestação de ovos foi avaliada experimentalmente em condições isotérmicas nas temperaturas de 50 °C, 55 °C e 60 °C e os tempos de tratamento para a inativação de todos os ovos foram de 240 min, 90 min e 10 min, respectivamente. É notável que a temperatura tem grande influência na morte dos insetos. A morte de insetos adultos *C. maculatus* pelo uso do vácuo foi avaliada experimentalmente em condições isobáricas nas pressões de 2,2 kPa e 4,2 kPa, com taxa de descompressão (2,12 kPa s⁻¹). Os tempos de tratamento para a redução de 100% dos insetos foram de 60 min em ambos os tratamentos. A variação de pressão na faixa analisada não afeta significativamente os tempos de tratamento para insetos adultos de *C. maculatus*. A desinfestação de ovos, foi avaliada na pressão de 4,2 kPa e precisou de 300 min de tratamento para a inativação de 100% dos ovos. Os tratamentos não afetaram as características físicas dos grãos, como umidade, cor e textura. As curvas de morte dos insetos adultos e ovos se ajustaram bem ($R^2_{aj} > 0.98$ e $RMSE < 0,06$) aos modelos de Weibull e Gompertz modificado ajustado, respectivamente. Os métodos de aquecimento condutivo e aplicação de vácuo são eficazes na desinfestação de adultos de *C. maculatus* e são livres de resíduos químicos, podendo ser utilizados para a desinfestação de grãos de feijão.

Palavras-chave: Desinfestação, insetos, grãos, tratamentos físicos, vácuo.

ABSTRACT

Grains and cereals are extensively attacked and degraded by pests during storage. The beetle *Callosobruchus maculatus*, also known as “bean beetle” is the main pest of cowpea (*Vigna unguiculata*) and other beans such as mungu and adzuki bean. Because of the accumulation of chemical residues and their high toxicity, alternative and safer methods are needed. Thus, the present study aims to evaluate the death of the insect *C. maculatus* in the adult phase and the disinfestation of your eggs, submitted to vacuum and conductive heating (by contact with a hot plate) as well to evaluate the physical quality of the grains after the treatments. The thermal death of adult insects of *C. maculatus* in conductive heating was evaluated, under isothermal conditions, at temperatures of 50 °C, 52 °C, 55 °C and 60 °C. The treatment times for the total insect population elimination were 35 min, 14 min, 3 min and 1 min, respectively. The desinfestation of eggs of *C. maculatus* in conductive heating was evaluated, under isothermal conditions, at temperatures of 50 °C, 55 °C and 60 °C. The treatment times for the total insect population elimination were 240 min, 90 min, 1 min, respectively. It is noticeable that the temperature has a great influence on the insect’s death. The death of adult insects through the vacuum application was evaluated under isobaric conditions and with a decompression rate (2,12 kPa s⁻¹) at pressures of 2.2 kPa and 4.2 kPa. The time-kill all the insect by vacuum treatments were 60 min in both treatments. The pressure variation in the investigated range does not significantly affect the treatment time for adult insects of *C. maculatus*. In egg’s desinfestation, it was experimentally evaluated at a pressure of 4.2 kPa under the same conditions as adults and reached a treatment time for 100% inactivation of eggs of 300 min. The treatments did not affect the physical characteristics of the grains, such as moisture, color and texture. The death curves of adult insects and eggs adjusted well ($R^2_{aj} > 0.98$ and RMSE <0.06) to Weibull and adjusted modified Gompertz models, respectively. The methods of conductive heating and vacuum treatment methods are effective for the disinfestation of adults *C. maculatus* and can be a good alternative for disinfestation of bean grains.

Keywords: Disinfestation, insects, grains, physical treatment, vacuum.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Inseto-praga <i>C. maculatus</i> na fase adulta.	36
Figura 2 - Comportamento do inseto com a redução da temperatura. ...	43
Figura 3 - Ilustração esquemática do sistema de aquecimento condutivo, com possibilidade de aplicação de vácuo.....	46
Figura 4 - Dados experimentais médios e desvio padrão das curvas de morte de adultos de <i>C. maculatus</i> nas temperaturas de (○) 50 °C, (◇) 52 °C e (□) 55 °C.....	53
Figura 5 - Dados experimentais médios e desvio padrão das curvas de morte de adultos de <i>C. maculatus</i> nas pressões de (□) 2,2 kPa (○) 4,2 kPa.	55
Figura 6 – Ovos de <i>C. maculatus</i> com (a) 0 – 48 h; (b) 7 – 8 dias de desenvolvimento; (c) 7 – 8 dias sem desenvolvimento do inseto.....	56
Figura 7 - Dados experimentais (médias) e desvios padrão das curvas de inativação térmica de ovos de <i>C. maculatus</i> nas temperaturas de (○) 50 °C, (□) 55 °C e (◇) 60 °C	57
Figura 8 - Dados experimentais médios e desvio padrão das curvas de desinfestação a vácuo de ovos de <i>C. maculatus</i> na pressão de (○) 4,2 kPa.	58
Figura 9- Ajustes do modelo Weibull aos dados experimentais de morte de adultos de <i>C. maculatus</i> : (a) no tratamento térmico a 50 °C (—, ○), 52 °C (----, ◇) e 55 °C (....., □) e (b) nas pressões de 4,2 kPa (—, ○) e 2,2 kPa (----, Δ).....	62
Figura 10- Ajustes do modelo GOM aj aos dados experimentais na desinfestação de ovos de <i>C. maculatus</i> a) no tratamento térmico a) (—, ○) 50,(----, Δ) 55, (-...-, □) 60 °C b) no tratamento a vácuo (—, ○) na pressão 4,2 kPa.....	65
Figura 11– Dados experimentais (médias) do ganho de umidade em base úmida (b.u., %) durante o cozimento dos grãos submetidos a diferentes tratamentos (□) 4,2 kPa, (Δ) 50 °C, (×) 55 °C, (○) 60 °C, (+) Controle.	68
Figura 12 - Dados experimentais médios de compressão obtidos durante o cozimento de feijão fradinho nos tratamentos a (□) 4,2 kPa, (Δ) 50 °C, (×) 55 °C, (○) 60 °C, (+) Controle.....	69
Figura 13 – Dados experimentais médios de cor a) L*, b) a*, c) b* obtidos durante o cozimento de feijão fradinho nos tratamentos (□) 4,2 kPa, (Δ) 50 °C, (×) 55 °C, (○) 60 °C, (+) Controle.	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais insetos-praga causadores de danos em grãos e sementes.	32
Tabela 2 - Tipos de inseticidas para tratamento preventivo e/ou curativo de insetos-pragas de sementes armazenadas. Formulação: CE (Concentrado emulsionável); PF (Pastilha fumigante). Classe Toxicológica: I (extremamente tóxico); II (altamente tóxico); III (Medianamente tóxico).	38
Tabela 3 - Tipos de controles que utilizam aquecimento.	44
Tabela 4 – Tempos de tratamentos para a eliminação de 100% da população do inseto-praga <i>C. maculatus</i>	59
Tabela 5 - Ajustes de modelos matemáticos para os valores experimentais médios da cinética de morte de adultos de <i>C. maculatus</i> . Gompertz modificado (GOM); Gompertz modificado ajustado (GOM _{aj}); Weibull (WBL); Fermi (FER); Exponencial (EXP).	61
Tabela 6 - Parâmetros obtidos pelo ajuste do modelo Weibull aos dados experimentais médios de morte de adultos <i>C. maculatus</i>	63
Tabela 7 - Ajustes dos modelos matemáticos para os valores experimentais médios da desinfestação de ovos de <i>C. maculatus</i> . Gompertz modificado ajustado (GOM _{aj}); Weibull (WBL); Fermi (FER); Exponencial (EXP).	64
Tabela 8 - Parâmetros obtidos pelo ajuste do modelo GOM _{aj} aos dados experimentais de desinfestação de ovos de <i>C. maculatus</i> em todas as condições.	66
Tabela 9- Umidade e atividade de água dos grãos.	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

EUA- Estados Unidos da América

EXP- Exponencial

FER- Fermi

GOM- Gompertz modificado

GOM_{aj}- Gompertz modificado ajustado

PROFI – Laboratório de Propriedades Físicas dos Alimentos

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

UR – Umidade relativa do ambiente

WBL- Weibull

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Descrição	Unidade
a	Constante do modelo	-
a^*	Tonalidade vermelha/verde	
B	Velocidade de morte	min^{-1}
b	Constante do modelo	-
b^*	Tonalidade amarela/azul	
C	Diferença entre assíntota superior e inferior	-
c	Parâmetro de interesse	-
D	Tempo necessário para uma redução logarítmica	min
E	Valor da assíntota superior	-
k	Velocidade de morte	min^{-1}
L^*	Luminosidade entre o preto e branco	
m	Massa de água	g
N	Número de indivíduos vivos	Unidade
n	Número de pontos experimentais	Unidade
p	Número de parâmetros do modelo	Unidade
R^2	Coefficiente de determinação	-
SSE	Erro quadrado de previsão	-
$RMSE$	Erro quadrático médio	-
t	Tempo	min
t_L	Tempo para redução da metade da população	min
t_M	Tempo em que k é máximo	min
T	Temperatura	$^{\circ}C$
Subscritos		
0	Inicial	
aj	Ajustado	
atm	Atmosférica	
b.u	Base úmica	
max	Máxima (o)	

SUMÁRIO

DIAGRAMA CONCEITUAL DO ESTUDO.....	27
1 INTRODUÇÃO.....	29
1.1 OBJETIVOS	30
1.1.1 Objetivo Geral.....	30
1.1.2 Objetivos específicos	30
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
2.1 INSETOS-PRAGA DE GRÃOS.....	31
2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM O APARECIMENTO DE INSETOS-PRAGA	33
2.2.1 Temperatura.....	33
2.2.2 Umidade relativa (UR).....	33
2.3 FEIJÃO FRADINHO (<i>Vigna unguiculata</i> L.)	34
2.4 CARUNCHO (<i>C. maculatus</i>).....	35
2.5 MÉTODOS PARA CONTROLE DE INSETOS-PRAGA EM GRÃOS ARMAZENADOS.....	36
2.5.1 Controle Químico.....	37
2.5.2 Controle Biológico.....	39
2.5.3 Controle Físico.....	39
2.5.4 Atmosfera modificada.....	39
2.5.5 Pós Inertes.....	40
2.5.6 Aeração	41
2.5.7 Tratamentos térmicos	41
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS E INSETOS	45
3.2 APARATO EXPERIMENTAL	45
3.3 PREPARO DAS AMOSTRAS E AVALIAÇÃO DOS TRATAMENTOS	46
3.4 TRATAMENTOS FÍSICOS	47
3.4.1 Tratamento térmico	47

3.4.2	Tratamento a vácuo	48
3.5	MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE MORTE DE INSETOS ADULTOS DE <i>C. maculatus</i>	48
3.6	AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO FEIJÃO DURANTE O COZIMENTO	50
3.6.1	Umidade	50
3.6.2	Atividade de água	50
3.6.3	Cor	50
3.6.4	Propriedade mecânica	51
3.6.5	Análises Estatísticas	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4.1	TRATAMENTOS FÍSICOS PARA INDIVÍDUOS ADULTOS DE <i>C. maculatus</i>	53
4.1.1	Tratamento térmico em insetos adultos	53
4.1.2	Tratamento a vácuo de insetos adultos	54
4.2	TRATAMENTOS FÍSICOS PARA DESINFESTAÇÃO DE OVOS DE <i>C. maculatus</i> EM FEIJÃO FRADINHO	56
4.2.1	Identificação da inativação dos ovos presentes nos grãos	56
4.2.2	Tratamento térmico para inativação de ovos	56
4.2.3	Inativação dos ovos por tratamento com vácuo	57
4.3	AJUSTES DE MODELOS MATEMÁTICOS AOS DADOS DE INATIVAÇÃO RESULTANTES DOS TRATAMENTOS FÍSICOS	61
4.3.1	Insetos adultos de <i>C. maculatus</i>	61
4.3.2	Desinfestação de ovos de <i>C. maculatus</i>	63
4.4	ANÁLISE FÍSICA DOS GRÃOS DE FEIJÃO FRADINHO DURANTE O COZIMENTO	66
4.4.1	Umidade e atividade de água do grão ao final dos tratamentos físicos	66
4.4.2	Umidade dos grãos durante o cozimento	67
4.4.3	Propriedades mecânicas de textura dos grãos submetidos aos diferentes tratamentos e cozidos	68

4.4.4	Cor.....	69
5	CONCLUSÕES	73
	APÊNDICE A.....	89
	APÊNDICE B.....	93

DIAGRAMA CONCEITUAL DO ESTUDO

- **O quê?**

Insetos que contaminam grãos de feijão, como o *C. maculatus*, são pragas que causam grandes perdas no campo e nos armazéns. A fumigação com agentes químicos tem sido usada para a desinfestação dos grãos, mas os resíduos pós-fumigação têm sido motivo de preocupação. São necessárias pesquisas de tratamentos alternativos, livres de resíduos químicos, eficazes na desinfestação e na manutenção da qualidade dos grãos.

- **O que já existe?**

- Dados sobre a mortalidade de insetos-praga de grãos armazenados submetidos a aquecimento por água, micro-ondas, radiofrequência, ar forçado e energia solar;
- Dados sobre a mortalidade de insetos-praga de grãos armazenados em atmosfera modificada, e utilização de fumigantes a base de óleos essenciais;
- Cinética de morte térmica de insetos-praga de arroz e de milho sob aquecimento condutivo em blocos metálicos;

- **Hipótese do estudo**

- É possível eliminar o inseto *C. maculatus* de grãos de feijão com tratamentos de aquecimento condutivo e com aplicação de vácuo, mantendo as qualidades físicas dos grãos.

- **Metodologia científica**

- Determinação de curvas de morte térmica e com aplicação de vácuo em indivíduos adultos de *C. maculatus*;
- Utilização de modelos matemáticos para descrever a morte dos insetos nos tratamentos analisados;
- Estudo experimental da desinfestação de ovos de *C. maculatus* em grãos, através do aquecimento condutivo e com tratamentos sob vácuo;
- Análise física dos grãos após os tratamentos térmicos e tratamentos com vácuo;
- Avaliação da influência dos tratamentos no cozimento dos grãos de feijão.

- **Resultados esperados**

- Descrição matemática da morte térmica de insetos adultos e da desinfestação de ovos de *C. maculatus* em diferentes temperaturas de tratamento térmico;
- Descrição matemática da morte de insetos adultos e da desinfestação de ovos de *C. maculatus* tratados com vácuo;
- Manutenção da qualidade física dos grãos.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação (FAO, 2017), a população mundial atingirá 9,8 bilhões de pessoas em 2050, aumentando a demanda de alimentos em 60%. A redução de perdas na cadeia de produção agrícola é fundamental para responder a esse aumento de demanda.

Os grãos e cereais são fontes de nutrientes, carboidratos e proteínas, desempenhando um papel importante na alimentação humana. O feijão fradinho ou caupi (*Vigna unguiculata*) é cultivado em maior concentração na região Norte e Nordeste do Brasil, possui baixo custo de produção e alta qualidade nutricional, além de ter boa adaptação às regiões tropicais e subtropicais (FREIRE FILHO et al., 2011). O Brasil é o terceiro maior produtor mundial dessa leguminosa, e a busca por expansão na produção e redução de perdas durante a colheita e o armazenamento são cada vez maiores (CONAB, 2018). As perdas devido ao ataque de insetos-praga podem atingir até 30% durante o armazenamento (HAGSTRUM; PHILLIPS; CUPERUS, 2012;), indicando a importância desse problema.

A principal praga do feijão fradinho é conhecida como caruncho do feijão (*C. maculatus*). O caruncho possui alto poder destrutivo em grãos, acarretando em alterações da qualidade através de perdas no valor nutritivo e diminuição da germinação das sementes (ALMEIDA et al., 2005).

A prática mais utilizada para desinfestação de insetos em grãos é o uso de agentes químicos, como a fosfina (PH_3) e brometo de metila (CH_3Br), através da fumigação. No entanto, o uso descontrolado destes insumos causa danos à saúde humana, acumula resíduos nos grãos, e tem aumentado a resistência química dos insetos. Com isso, há a procura por tratamentos eficazes e livres de resíduos químicos (MARANGONI et al., 2012; NODARI E GUERRA, 2015; BARDIN et al., 2015).

O controle de pragas por métodos físicos é uma boa alternativa à fumigação. Os principais tratamentos físicos para a desinfestação de grãos consistem na modificação de fatores como temperatura, umidade e composição atmosférica. Os tratamentos que mais se destacam são os térmicos, que apresentam como vantagem a baixa temperatura de letalidade dos insetos-praga ($\approx 55\text{ }^\circ\text{C}$), e o emprego de atmosferas modificadas (redução de O_2 e variações nas concentrações de CO_2 e N_2 em no ambiente de armazenamento).

Estudos de morte de insetos e o ajuste de modelos matemáticos que descrevam o comportamento durante o processo estão sendo

desenvolvidos (YAN et al., 2014). A sua compreensão é fundamental para o desenvolvimento de processos e equipamentos para a desinfestação de grãos.

Os métodos de desinfestação devem manter as propriedades do grão após o tratamento, garantindo sua qualidade física, química, nutricional e sensorial.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo deste estudo é avaliar a morte do inseto-praga *C. maculatus* na fase adulta, assim como a inativação dos seus ovos, quando submetidos ao vácuo e ao aquecimento condutivo. Com isso, busca-se obter uma alternativa livre de resíduos químicos para desinfestação desta praga em grãos de feijão fradinho durante o período de estocagem.

1.1.2 Objetivos específicos

- Determinar experimentalmente curvas de morte do inseto adulto pelo aquecimento condutivo e utilizando apenas vácuo;
- Determinar experimentalmente curvas de desinfestação de ovos do inseto pelo aquecimento condutivo e utilizando apenas o vácuo;
- Ajustar modelos que descrevem a morte do inseto adulto nos diferentes tratamentos;
- Analisar alterações de umidade, cor, textura, atividade de água e cozimento de grãos de feijão tratados.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INSETOS-PRAGA DE GRÃOS

Pragas são “organismos vivos, como insetos, ácaros, fungos ou plantas daninhas, que causam prejuízos às plantas cultivadas, produtos armazenados ou aos animais” (NORRIS et al., 2003). Para um inseto ser considerado uma praga, ele deve possuir estabilidade, potencial biótico elevado e deve causar danos diretos ou indiretos à produção.

Os danos diretos são aqueles causados diretamente ao grão e os indiretos são danos causados à planta, como em suas raízes e folhas. Através da degradação dos produtos, o inseto permite o surgimento de contaminações, como a propagação de patógenos e deteriorantes (vírus, bactérias, substâncias tóxicas), causando problemas à saúde humana (GALLO, 2002). Os danos em grãos podem ocasionar perda de massa, redução do valor nutricional e degradação das propriedades físico-químicas.

Insetos-praga são denominados como pragas do campo e pragas de armazém (SHARMA et al., 2015). As pragas do campo são aquelas que atacam sementes no solo ou tecidos produzidos após a germinação da semente, até a perda dos cotilédones. Estas pragas são caracterizadas por serem mastigadoras ou sugadoras. Já as pragas de armazéns atacam os grãos ou sementes apenas quando estão armazenadas.

As pragas de armazenamento possuem diferentes classificações, em função do tipo de degradação que acarretam aos grãos podendo ser primárias ou secundárias. As pragas primárias se destacam por serem as primeiras a atacarem grãos sadios, as principais pragas deste grupo são besouros da espécie *Rhyzopertha dominica*, *C. maculatus*, *Sitophilus zeamais*, *Zabrotes subfasciatus* e a traça *Sitotroga cerealella*. Já as secundárias atacam grãos já danificados. Espécies de besouros *Tribolium castaneum*, *Oryzaephilus surinamensis* e *Cryptolestes ferrugineus* são exemplos de pragas secundárias. (GOLOB; FARRELL; ORCHARD, 2002; LORINI et al., 2015).

Na Tabela 1 são apresentados os principais insetos-praga causadores de danos em grãos e sementes.

Tabela 1 - Principais insetos-praga causadores de danos em grãos e sementes.

Inseto-praga	Espécie vegetal predada	Momento do dano
<i>Rhyzopertha dominica</i> (Bostrichidae), <i>Sitophilus</i> (Curculionidae), <i>Acanthoscelides</i> e <i>Zabrotes</i> (Bruchidae), <i>Callosobruchus</i> (Chryzomelidae), <i>Tribolium</i> e <i>Alphitobius</i> (Tenebrionidae) e <i>Cryptolestes</i> (Laemophloeidae), <i>Conoderus</i> (Elateridae); <i>Phyllophaga</i> , <i>Cyclocephala</i> , <i>Diloboderus</i> , <i>Stenocrates</i> e <i>Eutheola</i> (Scarabaeidae)	Sementes de grãos e cereais em geral	Campo e armazenagem
<i>Conoderus</i> (Elateridae); <i>Phyllophaga</i> , <i>Cyclocephala</i> , <i>Diloboderus</i> , <i>Stenocrates</i> e <i>Eutheola</i> (Scarabaeidae)	Plântulas de culturas comerciais	Campo
<i>Nezara</i> , <i>Piezodorus</i> e <i>Euschistus</i> (Pentatomidae); e <i>Cyrtomenus</i> (Cydniidae)	Plântulas de culturas comerciais e sementes em formação	Campo
<i>Anagasta</i> , <i>Corcyra</i> e <i>Plodia</i> (Pyralidae); <i>Sitotroga</i> (Gelechiidae) e <i>Ephestia</i> (Crambidae)	Sementes de grãos e cereais em geral	Armazenamento
<i>Elasmopalpus</i> (Pyralidae); <i>Helicoverpa</i> , <i>Spodoptera</i> e <i>Mocis</i> (Noctuidae)	Sementes de grãos e cereais em geral	Campo

Fonte: Ferreira; Nascimento; Silva (2017).

A perda de grãos degradados por insetos-praga pode atingir valores superiores a 30% da produção, em países em desenvolvimento, onde as práticas de cultivo e pós-colheita precisam ser melhoradas.

Anualmente no Brasil as perdas econômicas causadas por pragas têm um prejuízo de aproximadamente 14,7 bilhões (OLIVEIRA et al., 2014). Diversos métodos de controle estão sendo pesquisados para prevenir e diminuir o percentual de perdas na produção agrícola.

2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM O APARECIMENTO DE INSETOS-PRAGA

As pragas de grãos e sementes surgem devido às más condições de cultivo e pós-colheita, criando condições favoráveis ao crescimento de organismos vivos (LORINI, 2015). A temperatura e a umidade relativa (UR) são dois fatores de destaque sobre o desenvolvimentos dos insetos-praga.

2.2.1 Temperatura

Os insetos por serem animais ectotérmicos (animais de sangue frio) têm a capacidade de conservar a temperatura do corpo próxima à do meio ambiente, sendo desta forma influenciados pela temperatura do espaço de armazenamento (SENTIS, A.; HEMPTINNE, J. L.; BRODEUR, J., 2013). A temperatura do ambiente influencia a disbução local, densidade populacional, composição genética e a duração do ciclo de vida do inseto (BALE et al., 2002).

Mudanças na taxa de desenvolvimento, fecundidade e tempo de sobrevivência podem estar associadas à variação de temperatura (HOWE, 1967; HUANG, Z.; REN, S.; MUSA, P., 2008). De acordo com Gallo (2002), a temperatura ótima de desenvolvimento está entre 15 °C a 38 °C. Em temperaturas acima de 38 °C o inseto entra em um processo de defesa, chamado estivação, reduzindo a sua atividade metabólica. Esse processo de “dormência” se manifesta frente a determinadas adversidades ambientais. Temperaturas superiores a 52 °C ou inferiores a - 20 °C ocorre a morte dos insetos. Entre 0 °C a 15 °C, o inseto entra em estado de hibernação temporária. Além da temperatura desfavorável, a combinação de diferentes fatores do ambiente também pode resultar na morte dos insetos. Assim, conhecer o histórico de condições ambientais (temperatura, UR, radiação) se torna importante.

2.2.2 Umidade relativa (UR)

A combinação da umidade relativa e temperatura adequadas têm como consequência uma alta taxa de eclosão e sobrevivência dos insetos. Os insetos preferem uma faixa de umidade que pode variar de acordo com outras condições ambientais ou com a sua alimentação diária. As faixas favoráveis para o desenvolvimento dos insetos em todo o ciclo de vida ficam entre 40 e 80% (GALLO, 2002).

A UR pode afetar diretamente e indiretamente a vida do inseto-praga. Alguns insetos, como é o caso do *L. sativae*, não são afetados pela UR em estágios imaturos. Entretanto, pupas e larvas têm taxa de sobrevivência consideravelmente afetadas pela UR. A UR de 9% é considerada crítica para os insetos em sua fase reprodutiva. No grão, se a umidade aumenta, a taxa reprodutiva do inseto também sofre crescimento (PARRA, 2000; FARONI; SILVA, 2008; LIMA; GEREMIAS; PARRA, 2009).

2.3 FEIJÃO FRADINHO (*Vigna unguiculata* L.)

O feijão fradinho tem sua origem na África e foi introduzido no Brasil pelos próprios africanos, no Estado da Bahia. Seu consumo hoje é maior no Norte e Nordeste, sendo conhecido por diferentes nomes, como: feijão-da-estrada, feijão-caupi, feijão-de-praia, feijão-de-rama ou feijão macassar, feijão-de-corda, macáçar ou macaça e mundialmente, conhecido como blackeye bean e cowpea (NEVES et al., 2011).

É uma leguminosa granífera importante em regiões tropicais e subtropicais do mundo. É um grão de grande importância econômica, social e alimentar para a população brasileira, pois além de ser um alimento de baixo custo, fornece nutrientes como cálcio, ferro, vitaminas, fibras, além de possuir um alto teor de proteínas (OLIVEIRA et al., 2013). Botanicamente, é uma planta que apresenta um ciclo curto e é adaptada a altas temperaturas e tempos de estiagem. É dicotyledonea, da Ordem Fabales, Família Fabaceae, Subfamília Faboideae, Gênero *Vigna*, Subgênero *Vigna*, seção *Catyang*, espécie (*Vigna unguiculata* L.) e Subespécie *unguiculata*, subdividida em quatro grupos: *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis* (FREIRE FILHO et al., 2011).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2017), o Brasil está entre os maiores produtores de feijão fradinho, ficando em terceiro lugar na produção mundial, atrás somente da Índia e China. Na América Latina, o Brasil lidera tanto na produção quanto no consumo, possuindo uma área cultivada em torno de 3,1 mil hectares, com uma produção média de 1083 kg ha⁻¹. É o terceiro tipo de feijão mais produzido no país e esta produção está concentrada no Norte e Nordeste, tendo os maiores produtores a Bahia e Piauí (CONAB, 2018).

Destacam-se três ramos de mercado para o feijão fradinho: sementes, feijão-verde e grãos secos. O processamento desta matéria-

prima ainda é pequeno, porém há interesse na fabricação de farinhas, produtos pré-cozidos e congelados (ROCHA, 2017). Com o aumento da produção de feijão, os agricultores necessitam de técnicas eficientes para a estruturação da pós-colheita e armazenamento, além de adotar boas práticas agrícolas na lavoura.

De acordo com Brito (2015), estima-se que as perdas de grãos no armazenamento devido ao ataque de insetos-pragas, fungos, micotoxinas, presença de animais são de até 30% da produção total. As pragas se instalam no interior do grão e podem aparecer e danificar também grãos já embalados. De acordo com a instrução normativa nº 12, de 28 de março de 2008 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA (2008), a presença de insetos vivos ou mortos ou grãos “carunchados” pode ser de até 6% do peso total, porém não é interessante a sua presença. Sendo assim necessárias alternativas que evitem o aparecimento destes insetos nos grãos após a armazenagem.

2.4 CARUNCHO (*C. maculatus*)

O *C. maculatus* também conhecido como caruncho do feijão, é a principal praga causadora da degradação dos grãos de feijão fradinho. Possui alto potencial para infestação das leguminosas grãos-de-bico, ervilhas, vagens e alguns tipos de grãos de soja. Ele pertence ao seguinte enquadramento taxonômico, de acordo com Fabricius (1775): Reino Animalia, Filo Arthropoda, Classe Insecta, Ordem Coleoptera, Família Chrysomelidae, grupo dos bruquídeos, Subfamília Bruchinae, Gênero *Callosobruchus*, Espécie *C. maculatus*.

Os insetos desta classe se caracterizam por apresentar um corpo composto por três partes: cabeça, tórax e abdômen. O *C. maculatus*, apresenta em média 3 mm de comprimento, coloração escura, apresentando três listras escuras, estrias no élitros e pubescência no tórax. O tempo médio de vida deste besouro adulto varia entre 7 a 9 dias. (GALLO et al, 2002). A fêmea caracteriza-se por ser maior que o macho, chamado de dimorfismo sexual, o que é normal na fase adulta. Em média, a fêmea oviposita 80 ovos por dia durante a sua vida (QUINTELA et al., 1991). O ciclo de vida do inseto dura aproximadamente 21 dias e as fases de desenvolvimento são: ovo, larva (1º ao 4º instar), pupa e inseto adulto (GALLO et al, 2002).

Os ovos possuem um formato simétrico e de cor branca translúcida, as larvas são do tipo curculioniforme e caracterizada por ser a primeira fase pós-embrionária do inseto. Ela possui coloração branca,

cabeça diferenciada de coloração marrom com quitinização, e podem chegar a 3 mm de comprimento. A pupa é do tipo exarada, possuindo antenas e pernas (GALLO et al, 2002). O caruncho é classificado como uma praga primária interna, ou seja, ataca grãos ou sementes sadios, sem depredação de outros insetos anteriormente. O inseto perfura o grão para se alimentar e completar seu desenvolvimento (LORINI et. al., 2015).

Figura 1- Inseto-praga *C. maculatus* na fase adulta (a) macho, (b) fêmea.



Fonte: Elaborado pela autora (2019).

2.5 MÉTODOS PARA CONTROLE DE INSETOS-PRAGA EM GRÃOS ARMAZENADOS

Devido à alta perda de grãos e sementes por ataque de insetos-praga, houve a necessidade de desenvolver métodos para controlar estes indivíduos. Os métodos são classificados em físicos, químicos e biológicos.

2.5.1 Controle Químico

O controle químico é o método mais utilizado mundialmente contra insetos-praga, devido à sua praticidade e custo baixo. Seu uso vêm sendo feito desde o século XIX, quando era a única opção de controle disponível. Os primeiros produtos desenvolvidos foram à base de compostos arsênicos, seguido dos compostos organoclorados, organofosfatos, carbamatos e piretróides (FINKLER, 2012). A técnica de desinfestação mais conhecida dentre os controles químicos é chamada de fumigação química. Ela consiste no uso de gás e deve ser usado com total vedação em locais infestados. Sua atuação ocorre no sistema respiratório do animal, em todos os estágios de desenvolvimento.

As composições químicas mais conhecidas são dois biocidas gerais chamados de fosfina (PH_3), proveniente de fosfeto de alumínio ou de magnésio) e brometo de metila (CH_3Br). Ela é encontrada na fase líquida, para a realização de pulverizações em plantios ou na fase sólida como partículas e emulsões concentradas para a posterior liberação dos agentes químicos na fase gasosa, mais utilizado em locais de armazenamento (LORINI, 2011; LORINI et al., 2013).

Em virtude do uso indiscriminado destes agentes químicos, cada vez mais os insetos vão se tornando resistentes a eles, por existir uma interação ecológica entre as plantas e suas pragas, chamada de coevolução (TUDA et al., 2014; LORINI et al., 2015).

Foram constatadas diversas desvantagens no uso desses agentes químicos, como danos à saúde humana, devido à sua alta toxicidade, e eliminação de predadores naturais, causando um desequilíbrio ecológico. O acúmulo de resíduos no meio ambiente também é um inconveniente, além dos gases serem destruidores da camada de ozônio (FINKLER, 2012).

Na Tabela 2, são apresentados os tipos mais comuns de inseticidas. Fatores como espécie do inseto, estágio de vida, temperatura, umidade relativa, tempo de aplicação e tipo de formulação do agente químico podem influenciar sua eficácia. Temperaturas superiores a 20 °C são mais interessantes para a eficácia do fumigante (HAGSTRUM; PHILLIPS; CUPERUS, 2012).

Tabela 2 - Tipos de inseticidas para tratamento preventivo e/ou curativo de insetos-pragas de sementes armazenadas. Formulação: CE (Concentrado emulsionável); PF (Pastilha fumigante). Classe Toxicológica: I (extremamente tóxico); II (altamente tóxico); III (Medianamente tóxico).

Nome	Nome comercial	Formulação	Intervalo de segurança	Classe Toxicológica
Fosfina3	Gastoxin	PF	4 dias	I
Deltamethrin	K-Obiol	CE	30	III
Bifenthrin	ProStore	CE	30	III
Bifenthrin	Starion	CE	30	III
Fenitrothion	Sumigran	CE	120	II
Pirimiphos-methyl	Actellic	CE	30	II

Fonte: Adaptado de LORINI et al. (2010).

Como alternativas ao uso do controle químico, o uso de óleos essenciais extraído de plantas e alimentos tem sido estudado.

Souza et al. (2016) testou a fumigação de óleos essenciais a base de manjeriço (*Ocimum basilicum L.*), laranja-azedo (*Citrus aurantium L.*), hortelã (*Mentha spicata L.*), velaminhos (*Croton pulegioidorus*) para a eliminação de *Rhyzopertha dominica F.* (Coleoptera: Bostrichidae) e todos os óleos apresentaram propriedades fumigantes contra o inseto em questão. Chagas et al. (2014) utilizou óleos a base de uma espécie de capim do gênero capim limão (*Cymbopogon martini*) e canela (*Cinnamomum zeylanicum*). Obtiveram melhores resultados contra o fungo (*Amphobotrys ricini*), quando comparado aos controles biológicos.

Para o controle químico de *C. maculatus*, Dutra et al. (2016) utilizaram óleos essenciais à base de plantas do gênero *Citrus* spp. e Oliveira et al. (2017) utilizaram óleos a base de canela (*C. zeylanicum*) e cravo-da-índia (*Syzygium aromaticum*). Ambos os autores obtiveram resultados promissores, para diferentes concentrações dos óleos.

De acordo com o Sistema de Agrotóxicos Fitossanitários – AGROFIT (2015), no Brasil só há um inseticida químico registrado, fosfeto de alumínio- $AlPO_4$ (Fertox), contra o *C. maculatus*, havendo a necessidade de encontrar alternativas para a desinfestação deste inseto.

2.5.2 Controle Biológico

O controle biológico é um fenômeno que pode ocorrer naturalmente no meio ambiente. Consiste na regulação da quantidade de plantas e/ou animais, através de predadores naturais que atacam todos os estágios de vida, chamados de agentes biológicos de mortalidade. Pode-se agrupar esses agentes como microbianos ou entomopatogênicos, predadores e parasitoides. Os entomopatogênicos englobam organismos que causam doenças no inseto-praga, como vírus, fungos e bactérias. Os predadores, como aranhas e ácaros se alimentam do inseto e os parasitoides são hospedeiros que também podem se alimentar dele (HAJEK, 2004; HOY, 2008).

O controle biológico trata-se de um controle eficiente quando empregado no campo, não acumulando resíduos químicos e contribuindo para a sustentabilidade do ecossistema.

Pode-se classificar dois tipos de controle biológico do ponto de vista agrônomo, de acordo com Bueno et al. (2015): o controle biológico natural e o controle biológico aplicado. O controle biológico natural trata-se do reparo populacional do inseto-praga realizado pelo próprio meio ambiente, através de fatores bióticos e abióticos que favoreçam essa situação, sem intervenção do ser humano. O controle biológico aplicado trata-se da premissa básica do Manejo Integrado de Pragas (MIP), no qual acontece a intervenção do homem. Quando há uma infestação de um inseto-praga em uma região, uma alternativa é a introdução de um inimigo natural adequado na mesma região, onde, com o tempo, haverá um equilíbrio e menor densidade populacional do inseto-praga.

2.5.3 Controle Físico

Os métodos físicos mais tradicionais encontrados na literatura são: alterações da temperatura, umidade relativa do ar, atmosfera, uso de remoção manual, radiação e pós inertes.

2.5.4 Atmosfera modificada

A atmosfera modificada consiste na variação da atmosfera do ambiente de armazenagem de um alimento, variando concentrações de gases. A desinfestação por este método baseia-se na inserção de maiores concentrações de gases como dióxido de carbono (CO₂), nitrogênio (N₂), com o objetivo de reduzir a concentração de oxigênio (O₂),

dificultando a respiração dos insetos, levando-os ao óbito. Pesquisas apontam que a maioria dos insetos-pragas de grãos armazenados são eliminados quando as concentrações de oxigênio no ar que circula entre os grãos no ambiente são inferiores a 2% do volume total. Fatores como temperatura e umidade relativa do ar, quando controladas, podem favorecer o uso da atmosfera modificada (AFONSO; SILVA; BERBERT, 2008).

Um tipo de atmosfera modificada é chamado de “*sacrificial sealed storage*” e consiste na produção de uma atmosfera modificada pelos próprios organismos vivos. Insetos e outros organismos, como fungos, em estruturas totalmente seladas hermeticamente fazem com que consumam o oxigênio da estrutura, diminuindo sua concentração e aumentando a concentração de dióxido de carbono através da sua respiração (WHITE; JAYAS, 2003).

A desinfestação de insetos-praga também pode ser feita através da atmosfera modificada em resultado de condições sob baixas pressões. De acordo com Navarro e Calderon (1979) a causa da morte é resultado da hipóxia, baixa pressão parcial de O₂, tendo efeito significativo na mortalidade do animal. A 6,6 kPa, a pressão parcial de O₂ é equivalente a uma concentração de O₂ de 1,4%. Além de desinfestar, condições herméticas favorecem a qualidade do grão, impedindo o grão de respirar e criar condições que favoreçam o aparecimento de organismos vivos, prolongando o seu tempo de vida útil (CHAKRAVERTY et al., 2003).

2.5.5 Pós Inertes

Pós inertes atuam na remoção da água contida no inseto, dessecando-o. Estima-se que um inseto vem a óbito com a perda de 60% de água. Alguns tipos de pós também conseguem absorver outras substâncias, como as ceras cuticulares e até ter efeito abrasivo sobre as cutículas. Os pós têm como maior vantagem a sua não-toxicidade, porém apresentaram falhas durante o controle, acumulando resíduos em alimentos e aumento da resistência pelos insetos a esse método. Os pós mais conhecidos são: terra, terra de diatomáceas, sílica (FARONI; SILVA, 2008).

Terras, argilas e areias são aplicadas na parte superior dos grãos, visando formar uma camada protetora. A terra de diatomácea é um pó proveniente de fósseis de algas diatomáceas e é utilizado misturando-se juntamente aos grãos. As sílicas também são misturadas junto aos grãos e possuem maior eficácia que a terra diatomácea. Para a eficiência de

pós inertes ser alta, o pó depende de vários fatores, como a capacidade de um inseto reabsorver água, movimentação nos grãos, capacidade de absorção de água do alimento, número e distribuição de pêlos na cutícula, tempo de exposição ao pó e a umidade relativa do ar do ambiente (FARONI; SILVA, 2008; LORINI, 2015).

2.5.6 Aeração

A aeração é utilizada para inibir o crescimento de pragas em grãos. Consiste em aerar grãos armazenados através de circulação forçada de ar. Tem como objetivo resfriar e uniformizar a temperatura da massa do grão, remover odores, diminuir sua taxa de respiração, degradação do grão, evitar a oxidação lipídica e impedir condições favoráveis para o aparecimento de organismos vivos (SILVA et al., 2008). Este método tem como dificuldade a adaptação de alguns insetos à temperatura mais baixas, não sendo capaz de evitar o desenvolvimento dos mesmos. Quando falamos de insetos-praga, para a redução da taxa de crescimento da população, é interessante utilizar temperaturas inferiores a 16 °C e umidades inferiores a 30% (GALLO, 2002). Cuperus et al. (1986) observaram que foi utilizado o dobro de tratamentos com fumigantes em grãos de trigo sem aeração, quando comparados àqueles aerados. Arthur et al. (2001) e Ileleji et al. (2007) avaliaram estratégias de aeração de grãos de milho e obtiveram redução da densidade populacional e inibição (a temperaturas < 15 °C) de *S. zeamais* em grãos aerados sem fumigação.

2.5.7 Tratamentos térmicos

Uma alternativa livre de resíduos químicos para a desinfestação de insetos-praga durante o armazenamento é a utilização de tratamentos térmicos. Sabendo que os insetos possuem uma temperatura ótima de desenvolvimento, na faixa de 15 °C a 38 °C, os extremos, como altas e baixas temperaturas podem eliminá-los (GALLO, 2002). A faixa ideal de crescimento dos insetos varia de acordo com a espécie, estágio de vida e condições do ambiente, mas no geral, é indicado a utilização de temperaturas inferiores a 16 °C e superiores a 50 °C para tratamentos térmicos. Há a tendência de insetos serem mais resistentes ao frio que ao calor, porém para os grãos, temperaturas mais baixas são mais interessantes em função da manutenção da qualidade. Tratamentos térmicos têm como vantagens, serem de fácil aplicação, não acumularem resíduos no grão e alta eficiência de mortalidade. Uma

desvantagem é o alto custo de investimento em equipamentos e energia (HAGSTRUM; PHILLIPS; CUPERUS, 2012).

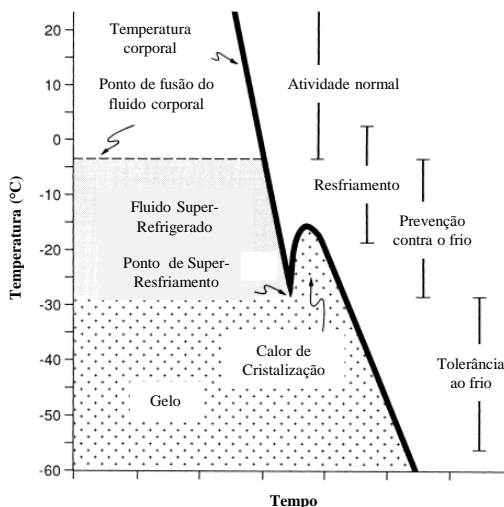
Refrigeração

A refrigeração consiste na redução da temperatura e pode aparecer de três formas: ar refrigerado, aeração e congelamento. O resultado dessa diminuição da temperatura é a redução das atividade microbiana e de insetos-praga. A refrigeração deve por um longo período de armazenamento, com manutenção da temperatura, tornando-se cara, devido ao gasto de energia (BANKS; FIELDS, 1995; HAGSTRUM; PHILLIPS; CUPERUS, 2012).

A morte por congelamento baseia-se na formação de gelo nas células do inseto, podendo causar perfuração, compressão das mesmas, ou pela desidratação das células causadas por formação de gelo nas células. Os organismos vivos possuem a chamada “*cold hardiness*”, a capacidade de um organismo vivo de tolerar e sobreviver a baixas temperaturas. De acordo com Salt (1961) os insetos são classificados em tolerantes e intolerantes a baixas temperaturas. Os tolerantes utilizam de estratégias para resistir a baixas temperaturas, e geralmente vivem em regiões de clima temperado com invernos rigorosos. Os intolerantes buscam regiões tropicais e possuem um teor de gordura elevado no corpo, reduzindo a velocidade com que a temperatura diminui nas células, retardando o congelamento. A temperatura na qual o corpo congela é chamado de ponto de super-resfriamento (JONSTON; LEE JR., 1990).

Loganathan et al. (2011) observaram a mortalidade de *C. maculatus* em baixas temperaturas. A - 15 °C observou-se um tempo de 2,5 h para a eliminação de 95% da população. Em ovos, o tempo foi de 1,3 h. Johnson e Valero (2003) observaram a mortalidade de *C. maculatus* em freezer comercial (-18 °C) em diferentes estágios do ciclo de vida e constataram que 95% da população foi eliminada com 120 min de exposição. Na Figura 2 está apresentado o comportamento dos insetos em relação a redução da temperatura.

Figura 2 - Comportamento do inseto com a redução da temperatura.



Fonte: Adaptada de Lee Jr. (1989).

Aquecimento

A diferença entre os tratamentos com temperaturas extremas são os tempos de exposição. No aquecimento, os tratamentos duram algumas horas, enquanto a refrigeração pode levar semanas (FIELDS, 1992). Rápidas exposições são importantes para não causar interferências na qualidade do grão, pois altas temperaturas causam o aceleração das reações bioquímicas em grãos e sementes, podendo alterar o percentual de germinação, umidade, tempo cocção e perda de peso.

A causa da morte térmica em insetos-praga parece estar associada com a desnaturação e coagulação das proteínas e com danos na parede celular (KAMPINA, 2006). O aumento da temperatura também aumenta as taxas fisiológicas, como taxas de respiração, esgotando as reservas energéticas do animal, podendo também causar esterilidade. A reação do inseto a adversidades em temperaturas elevadas pode ser tão severa que a morte pode ser imediata (HANSEN et al., 2000). Outros fatores como mudanças comportamentais, baixa imunidade a patógenos e susceptibilidade a inimigos naturais também são afetados por altas temperaturas (OKASHA et al., 1970; SLABBER; CHOWN, 2005).

Tratamentos utilizam o aquecimento como ar quente forçado, blocos aquecidos, micro-ondas, leitos fluidizados aquecidos, água quente, vapor e infravermelho. Todos aqueles que conseguem elevar de forma rápida a temperatura dos insetos acima de 60 °C são métodos interessantes de aquecimento. Estes tratamentos podem ser combinados com outros tipos de controle, como atmosfera modificada e a fumigação (CHAKRAVERTY et al., 2003; HAGSTRUM; PHILLIPS; CUPERUS, 2012; HALLMAN; DENLINGER, 1998).

Na Tabela 3 são apresentados diferentes controles térmicos a altas temperaturas durante o armazenamento de grãos e suas vantagens e desvantagens. Mekasha et al. (2006) obtiveram a eliminação de 100% de adultos e ovos de *C. maculatus* a uma temperatura de 60 °C por aquecimento em painel simulador solar elétrico em 45 min e 30 min. Observaram que larvas e pupas necessitaram de 30 min e 15 min para diminuir a eclosão a 10% em relação a amostra controle, além de constatar que o aquecimento alterou a capacidade de reprodução dos insetos que sobreviveram. Loganathan et al. (2011) analisaram o tempo de exposição para eliminar totalmente todos os estágios de desenvolvimento de *C. maculatus* em circulação de ar quente forçada a temperaturas de 42 °C, 45 °C, 50 °C, 55 °C e 60 °C e observaram que a pupa é o estágio mais tolerante a altas temperaturas e em seguida o adulto, larva e os menos tolerantes, os ovos.

Tabela 3 - Tipos de controles que utilizam aquecimento.

Tratamento	Primeiro uso	Matérias-primas	Vantagens	Desvantagens
Água quente Vapor aquecido	1925 1913	Frutas, sementes, plantas ornamentais	Simples e eficiente	Custos de energia
Ar quente forçado	1989	Frutas, legumes	Mantém a qualidade do produto	Processo lento, alto investimento
Ar seco	1792	Grãos	Simples, versátil, tecnologia conhecida	Alto investimento
Energia eletromagnética	1927	Grãos, sementes, oleaginosas	Rapidez, aquecimento seletivo	Efeito varia de acordo com a matéria-prima. Alto custo
Energia Solar	2001	Grãos, sementes, oleaginosas	Baixo custo, simples	Processo lento

Fonte: Adaptado de Hansen (2011).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos (PROFI) no Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

3.1 OBTENÇÃO DAS AMOSTRAS E INSETOS

As amostras de feijão foram obtidas em feira orgânica na região de Florianópolis - SC. Os grãos foram congelados a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ em freezer doméstico (Consul, modelo – CHA31BBBNA, Brasil) por pelo menos 30 dias, para garantir a eliminação total das possíveis pragas presentes na amostra.

A colônia de insetos *C. maculatus* foi cedida pelo Laboratório de Bioquímica e Biologia Molecular de Insetos da UFSC e foram acondicionados em sementes de feijão fradinho (*Vigna unguiculata*). Essas colônias permaneceram em B.O.D. (Dist, modelo – VB27/28/40/46R, Brasil) a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa (UR) entre 50% e 70%, em recipientes de vidros de 500 mL com tampas perfuradas para permitir trocas de ar.

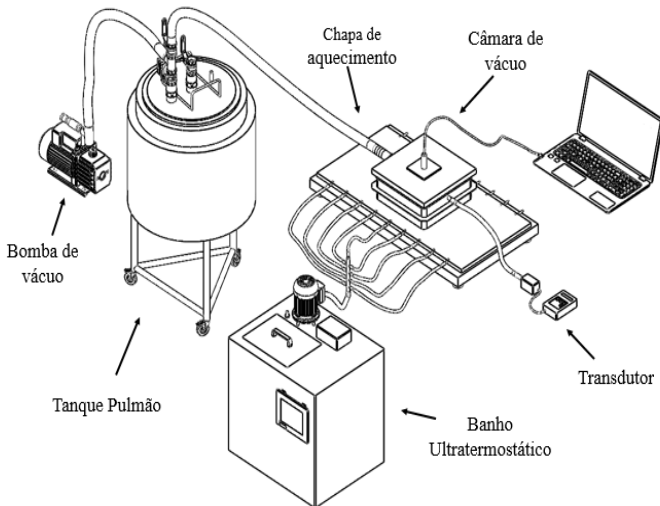
A manutenção e renovação da colônia de insetos realizou-se através da inserção de 20 insetos adultos em 200 g de feijão fradinho (previamente descongelados em dessecador por 24 h à temperatura ambiente), por um período de 24 h de oviposição, com o intuito de garantir a existência de pelo menos um casal. Posteriormente os insetos foram removidos e as amostras acondicionadas em B.O.D.

3.2 APARATO EXPERIMENTAL

O equipamento utilizado nos experimentos consiste de uma placa metálica (80 cm x 40 cm), aquecida por circulação de água quente e foi desenvolvido por Moraes et al. (2013). A água é proveniente de um banho ultratermostático (Callmex, modelo - 6214M2, Brasil) fornecendo a mesma condição de temperatura para toda a chapa. Costa (2017) adaptou uma câmara de vácuo de aço inox (280 mm x 280 mm x 80 mm) com tampa de acrílico acoplada a uma bomba de vácuo, com vazão nominal de $10,2\text{ m}^3\text{ h}^{-1}$ (D.V.P, Vacuum Technology, Modelo - RC.8D, Itália). No presente estudo, foi adaptado um tanque pulmão (53,5 L) ao sistema de vácuo com a finalidade de

auxiliar na rápida descompressão do sistema. O controle da pressão foi realizado com o auxílio de um transdutor de pressão (ILMVAC, modelo – 600071 Grobvakuummeter, Alemanha), e registrada a cada 30 s. O aparato experimental está esquematizado na Figura 3.

Figura 3 - Ilustração esquemática do sistema de aquecimento condutivo, com possibilidade de aplicação de vácuo..



Fonte: Autora (2019).

3.3 PREPARO DAS AMOSTRAS E AVALIAÇÃO DOS TRATAMENTOS

50 insetos (com 2 dias após a emergência) ou 50 ovos (\approx 10 g de grãos) com tempo de 0-48 h após a oviposição, foram selecionados de maneira aleatória e transferidos para recipientes de alumínio de tampa transparente de poliéster (Mylar[®] type D, DuPont, Wilmington, DE, USA), com perfurações de 1,5 mm de diâmetro, para permitir renovação do ar.

Após cada tratamento de desinfestação, os insetos ou grãos infestados foram transferidos para recipientes de vidro (500 mL) e acondicionados em B.O.D. (Dist, modelo– VB27/28/40/46R, Brasil) a 27 °C e umidade relativa (UR) entre 50% e 70%. O tempo final de tratamento foi determinado quando o percentual de mortalidade atingiu 100%.

A contagem dos insetos adultos vivos foi realizada logo após o tratamento e uma vez ao dia, durante 2 dias consecutivos (DUTRA et al. 2016). A desinfestação dos grãos ovipositados foi avaliada durante 7 dias, conforme o ciclo de vida do inseto, com o auxílio de lupa (GLASS, Lupa- 90 mm, China).

A avaliação da inativação dos ovos durante a desinfestação foi realizada pela análise da coloração do ovo. Os ovos são claros, translúcidos e leitosos e após a emergência da larva, a cavidade do ovo torna-se esbranquiçada e opaca, devido aos resíduos de sua alimentação e desenvolvimento (GALLO, 2002). Desta maneira, ovos que permaneceram translúcidos após os 7 dias de análise foram considerados inviáveis. E a cavidade do ovo que se tornou opaca foi considerada como insetos em desenvolvimento (MEDEIROS et al., 2017). Imagens dos ovos inativos e em desenvolvimento foram obtidas com o auxílio de microscópio binocular (Labomed, modelo- Luxeo 2S, EUA).

Em todos os experimentos uma amostra sem tratamento foi considerada como controle ($t = 0$), a qual foi manipulada da mesma maneira que as amostras tratadas. Todos os experimentos foram realizados em triplicata de forma destrutiva, ou seja, cada ponto experimental foi realizado individualmente e de forma sequencial para análise do comportamento dos indivíduos ao longo do tempo.

3.4 TRATAMENTOS FÍSICOS

Foram realizados tratamentos térmicos a diferentes temperaturas e tratamentos a vácuo a diferentes pressões, para estudar a inativação (morte) do inseto- praga *C. maculatus*.

3.4.1 Tratamento térmico

O tratamento térmico foi realizado nas temperaturas de 50 °C, 52 °C, 55 °C e 60 °C para insetos adultos e de 50 °C, 55 °C e 60 °C para a desinfestação de ovos. Os recipientes foram inseridos no interior do equipamento até atingirem a temperatura de equilíbrio. Insetos e grãos infestados com ovos foram colocados nos recipientes após a temperatura de equilíbrio. Em seguida, os mesmos foram transferidos para recipientes de vidro (500 mL) e acondicionados em B.O.D. para posterior análise, conforme item 3.3. O tempo final de tratamento foi determinado quando houve a eliminação total dos insetos. A

temperatura da superfície da chapa metálica do equipamento utilizado foi registrada com o auxílio de um termômetro infravermelho (FLUKE®, modelo 62 MAX +, China). Os tratamentos foram realizados em triplicata.

3.4.2 Tratamento a vácuo

As pressões empregadas no tratamento foram de 2,2 kPa e 4,2 kPa. O tempo final de tratamento foi determinado quando houve a eliminação total dos insetos. A taxa de descompressão dos experimentos de tratamento com vácuo foi de 2,12 kPa.s⁻¹, para todas as pressões finais. A taxa de descompressão média foi determinada através da Equação 1.

$$\frac{dP}{dt} = \frac{P_{atm} - P_f}{\Delta t} \quad (1)$$

Onde P_{atm} é a pressão atmosférica, P_f é a pressão final do experimento e Δt é o tempo em que levou para reduzir da pressão atmosférica para a pressão do estudo. Todos os tratamentos sob vácuo foram realizados em temperatura ambiente e em triplicata.

3.5 MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE MORTE DE INSETOS ADULTOS DE *C. maculatus*

Modelos matemáticos foram utilizados para descrever a cinética de inativação (morte) dos insetos adultos tratados termicamente e pela aplicação de vácuo. Os modelos de Weibull, Fermi, Gompertz modificado, Gompertz modificado ajustado e Exponencial foram ajustados aos dados experimentais. Para todos os modelos, $N(t)/N_0$ é a razão entre o número de indivíduos e o número inicial de insetos.

O modelo de Fermi representa um comportamento sigmoide simétrico e é representado pela Equação 2.

$$\frac{N(t)}{N_0} = \frac{1 + \exp(-k_{max} t_L)}{1 + \exp[k_{max}(t - t_L)]} \quad (2)$$

na qual os parâmetros k_{max} (min⁻¹) representa a velocidade máxima de morte e t_L o tempo em que a população inicial se reduz a metade.

O modelo de Weibull é apresentado pela Equação 3.

$$\frac{N(t)}{N_0} = \exp\left[-\left(\frac{t}{\beta}\right)^\alpha\right] \quad (3)$$

na qual α é o fator de forma (adimensional) e β (min^{-1}) é o tempo característico, também chamado de fator de escala.

O modelo de Gompertz modificado, representado pela Equação 4, na qual os parâmetros E (adimensional) representa o valor da assíntota superior, t_M (min) o tempo em que a velocidade de morte (k (min^{-1})) é máxima e C (adimensional) equivale a diferença entre a assíntota inferior e superior (MCKELLAR; LU, 2004; NAKASHIMA; ANDRÉ; FRANCO, 2000).

$$\frac{N(t)}{N_0} = E + C \exp\{-\exp[-k(t-t_M)]\} \quad (4)$$

A morte dos insetos foi analisada com os dados adimensionalizados ($N(t)/N_0$). Os parâmetros E e C do modelo de Gompertz modificado (Equação 4) representam valores constantes, visto que a análise dos tratamentos térmicos deste estudo ocorre até a morte total da população de insetos avaliada. Com isso, os valores da assíntota superior (E) são próximos a 1 ($N(0)/N_0$) e as diferenças entre as assíntotas superior e inferior (C) são próximas a -1. Portanto, o modelo de Gompertz modificado ajustado aos dados experimentais no presente estudo é representado pela Equação 5, a qual considera os parâmetros E e C da Equação 4 constantes e iguais a 1 e -1, respectivamente. A adaptação deste modelo foi realizada pelo grupo de pesquisa do laboratório PROFI.

$$\frac{N(t)}{N_0} = 1 - \exp\{-\exp[-k(t-t_M)]\} \quad (5)$$

O modelo exponencial é representado na Equação 6.

$$\frac{N(t)}{N_0} = a(\exp(bx)) \quad (6)$$

As estimativas dos parâmetros dos modelos foram realizadas com o auxílio do *software* Matlab® R2011b (versão 7.13, (MathWorks, Natick, MA, USA).

3.6 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DO FEIJÃO DURANTE O COZIMENTO

O cozimento foi realizado em água destilada à temperatura de $98\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 45 min, em béquer com uma razão de 0,05:1 (g grão:g⁻¹ água). Em intervalos de 5 min foram retiradas amostras e colocadas em contato por 1 min com papel filtro, para absorção do excesso de água. Posteriormente foram avaliadas as propriedades físicas de umidade, cor e firmeza, através da resistência máxima de compressão. O experimento de cozimento foi realizado em duplicata para todas as amostras. A análise de atividade de água das amostras foi realizada somente antes e após o tempo final de cozimento.

3.6.1 Umidade

O teor de umidade das amostras foi realizado em estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24 horas de acordo com IAL (2008). As análises foram realizadas em triplicata.

3.6.2 Atividade de água

As amostras foram trituradas e a atividade de água foi determinada em higrômetro digital (Aqualab Modelo- Series 3 TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, EUA) a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. As análises foram realizadas em triplicata.

3.6.3 Cor

Os parâmetros de cor das amostras foram determinados utilizando um sistema de visão computacional, de acordo com a metodologia descrita por Cárdenas-Pérez et al. (2017). Uma câmera (Nikon D5500, Nikon Corporation, Japão) foi usada para aquisição das imagens. A análise das imagens foi realizada no software ImageJ v. 1.6.0 (National Institutes of Health, Bethesda, MD, EUA). O plug-in Color Space Converter foi utilizado para converter as cores do sistema RGB para a escala CIELAB. A cor foi expressa pelo sistema de coordenadas L*, a* e b* (escala CIELAB) definido pela CIE (Commision Internationale de L'Éclairage) (1976). A leitura foi realizada em triplicata.

3.6.4 Propriedade mecânica

A firmeza das amostras foi determinada por meio de teste de compressão. Os experimentos foram realizados com uma probe cilíndrica de 50 mm de diâmetro em um analisador de textura (Stable Micro System, Modelo - TA-XT2i, Reino Unido), com uma célula de carga de 25 kg e auxiliados pelo programa Texture Expert Exceed 2.61 (Stable Micro Systems, Reino Unido) e com velocidade de teste de 1 mm s⁻¹ até a deformação de 40% da espessura original da amostra. A análise foi realizada em 7 amostras.

3.6.5 Análises Estatísticas

Os dados experimentais foram avaliados pela análise de variância (ANOVA). A comparação múltipla das médias foi analisada pelo uso do teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro ($p < 0,05$), com o auxílio do *software* Statistica 13.0 (Statsoft Inc., Tulsa, EUA).

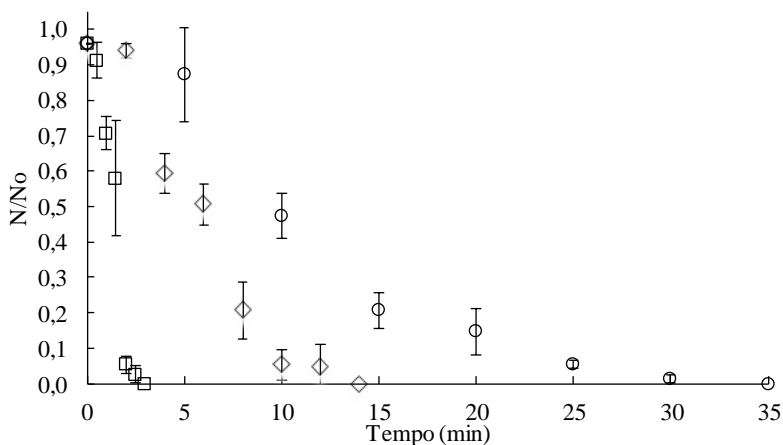
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TRATAMENTOS FÍSICOS PARA INDIVÍDUOS ADULTOS DE *C. maculatus*

4.1.1 Tratamento térmico em insetos adultos

As temperaturas dos tratamentos foram de $50\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $52\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, $55\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na Figura 4 estão apresentados os dados experimentais médios das curvas de morte térmica de adultos de *C. maculatus* nas três temperaturas analisadas. As temperaturas de $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ e $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ tiveram um tempo para a redução total da população de insetos iguais a 35 min, 14 min e 3 min, respectivamente. Devido ao curto período de tempo para a morte de toda a população de insetos (1 min) à temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, não foram realizadas curvas de morte térmica do inseto adulto. Os dados de morte térmica estão apresentados de forma adimensionalizada (N/N_0), representando a razão entre o número de indivíduos sobreviventes e o número inicial de indivíduos ao longo do tempo. As triplicatas dos experimentos estão apresentadas no Apêndice A (Figura A - 1).

Figura 4 - Dados experimentais médios e desvio padrão das curvas de morte de adultos de *C. maculatus* nas temperaturas de (\circ) $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, (\diamond) $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ e (\square) $55\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Johnson, Wang e Tang (2003) estudaram a termotolerância do *C. maculatus* no estágio adulto em sistema de blocos metálicos aquecidos (HBS) nas temperaturas de 50 °C, 52 °C e 54 °C. Eles relataram tempos de tratamento de aproximadamente 60 min, 10 min e 5 min, com taxa de aquecimento de 28 °C min⁻¹, respectivamente. Os autores também estudaram a termotolerância de outros insetos, como a traça-da-farinha (*Ephestia sp.*), o besouro de farinha vermelha (*T. castaneum*) e traça-dos-cereais (*P.interpunctella*), concluindo que o caruncho do feijão é o mais tolerante a altas temperaturas.

As curvas de morte apresentam um rápido decréscimo da população, seguida de um período de decaimento exponencial até a eliminação total da população. Li et al. (2015) realizaram o tratamento térmico com aquecimento condutivo utilizando blocos metálicos em insetos adultos de *S. zeamais* e observaram um comportamento linear da cinética de morte.

A temperatura possui grande influência na morte dos insetos, o que é confirmado por Gallo (2002), o qual menciona que temperaturas superiores a 52 °C eliminam insetos em poucos minutos.

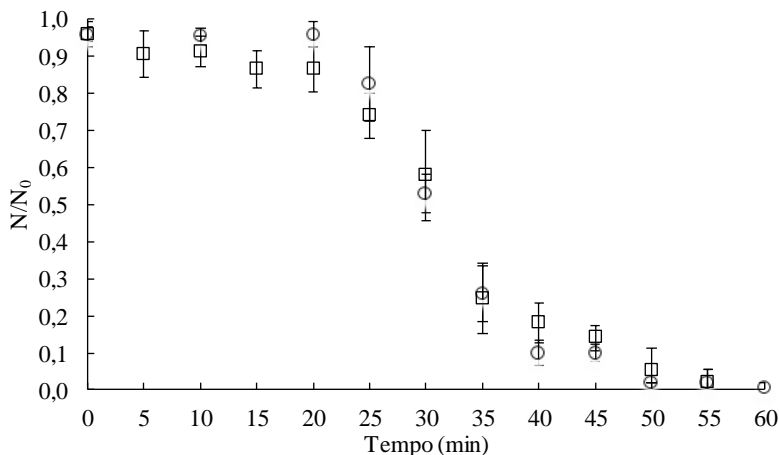
Pequenos aumentos de temperatura resultam em grandes reduções no tempo de tratamento. No presente caso, um aumento de 3 °C, de 52 °C a 55 °C, resultou em uma redução do tempo para morte total dos insetos superior a 50%. Comportamento similar ocorreu com o aumento da temperatura de tratamento de 50 °C para 52 °C.

4.1.2 Tratamento a vácuo de insetos adultos

Na Figura 5 são apresentados os dados experimentais (médias) das curvas de morte de *C. maculatus* adultos submetidos ao vácuo, nas duas pressões analisadas. As pressões de 2,2 kPa ± 0,4 kPa e 4,2 kPa ± 0,2 kPa resultaram em um tempo de morte de 60 min em ambos os tratamentos. Todos os dados experimentais das réplicas estão apresentados no Apêndice A (Figura A - 2).

As curvas de morte dos tratamentos a vácuo apresentaram comportamento sigmoide. A variação da pressão não afetou o comportamento e o tempo de morte dos insetos adultos de *C. maculatus*. Diversos trabalhos sugerem o armazenamento a vácuo como tratamento de desinfestação, pois possuem bom controle de insetos-praga, porém o tempo de tratamento é longo comparado aos tratamentos térmicos (FILKEMAN et al., 2002, 2003).

Figura 5 - Dados experimentais médios e desvio padrão das curvas de morte de adultos de *C. maculatus* nas pressões de (□) 2,2 kPa (○) 4,2 kPa.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

De acordo com Navarro e Calderon (1979), a causa da mortalidade de insetos com tratamentos a baixas pressões é a hipóxia, resultado da redução da pressão parcial do oxigênio. No presente estudo o mesmo é observado. Os insetos continuam a se movimentar ao decorrer do tempo de tratamento em baixas pressões, não havendo modificação estrutural aparente.

Finkelman et al. (2006) estudaram a suscetibilidade de insetos ao vácuo, relatando que insetos isolados são mais sensíveis ao tratamento, comparados a insetos inseridos nos grãos. Os autores relacionam o aumento da tolerância à umidade do ambiente, onde maiores umidades auxiliam na sobrevivência do animal. Navarro (1978) estabeleceu que a umidade é um dos fatores principais que determinam a sensibilidade à baixa pressão parcial de oxigênio, como ocorre em condições de vácuo.

Finkelman et al. (2004) observaram uma redução da fase adulta de *E. cautella*, *P. interpunctella* e *T. castaneum* em menos de 3 dias utilizando pressão de 6,6 kPa e temperatura de 30 °C. Os tempos necessários para obter 99% de mortalidade foram 45 h, 49 h e 22 h, respectivamente.

4.2 TRATAMENTOS FÍSICOS PARA DESINFESTAÇÃO DE OVOS DE *C. maculatus* EM FEIJÃO FRADINHO

4.2.1 Identificação da inativação dos ovos presentes nos grãos

Na Figura 6 são apresentadas as imagens dos ovos nos grãos.

Figura 6 – Ovos de *C. maculatus* com (a) 0 – 48 h; (b) 7 – 8 dias de desenvolvimento; (c) 7 – 8 dias sem desenvolvimento do inseto.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Logo após a oviposição, os ovos são translúcidos e leitosos (Figura 6a), mas com o decorrer do desenvolvimento da larva os mesmos tornam-se opacos e esbranquiçados devido ao acúmulo de dejetos deixados pela larva (Figura 6b). Quando não ocorre o desenvolvimento dos insetos, a cavidade do ovo permanece transparente (Figura 6c).

4.2.2 Tratamento térmico para inativação de ovos

A Figura 7 representa a curva de inativação (desinfestação) de ovos de *C. maculatus*. Os tempos de tratamento para a inativação total dos ovos foram de 240 min, 90 min e 14 min para as temperaturas de 50 °C, 55 °C e 60 °C, respectivamente. A triplicata dos dados experimentais está apresentada no Apêndice A (Figura A - 3).

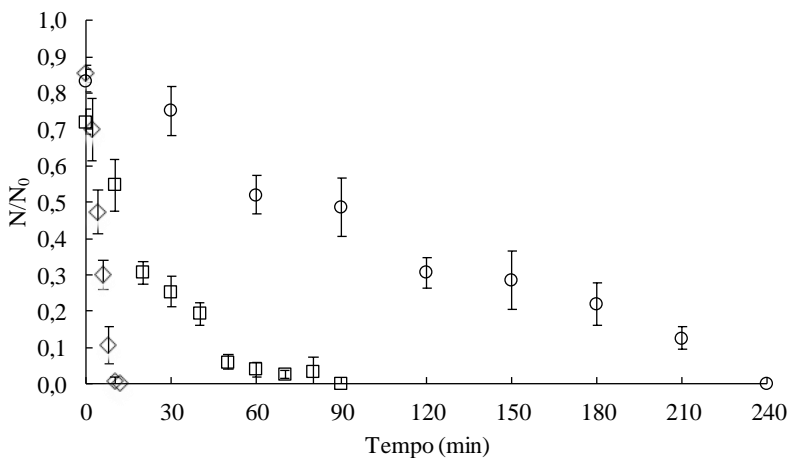
Na desinfestação dos ovos de *C. maculatus* presentes em feijão-azuki (*V. angularis*) em caixa aquecedora solar, Mekasha et al. (2006) observaram uma inativação de 38,4% dos ovos em 15 min de tratamento a uma temperatura de 45 °C. A 58 °C e 30 min de tratamento observaram uma redução de 0,5% na eclosão de adultos.

Purohit et al. (2013) realizaram a desinfestação de ovos de *C. maculatus* em 50 g de feijão mungu (*V. radiata*) utilizando microondas em diferentes potências e observaram que o ovo é o estágio mais suceptível, obtendo uma redução de 100% dos ovos nas potências de 300 W e 400 W com 28 s e 42 s.

Lale e Vidal (2002) estudaram diferentes tempos de exposição de ovos presentes em feijão- bambara (*V. subterranea* (L.)) a temperaturas de 40 °C, 45 °C e 50 °C em secador solar, não sendo observado o desenvolvimento de adultos a partir de 6 h de exposição a 50 °C para *C. maculatus*.

Loganathan et al. (2011) estudaram a desinfestação dos estágios de vida de *C. maculatus* em ampla faixa de temperatura. A 42 °C observou-se uma letalidade dos ovos de 95% com 23,9 h de tratamento, sendo o menor tempo entre todos os estágios tratados. Em baixas temperaturas, inativaram 95% dos ovos a 0 °C, -5 °C, -10 °C e -15 °C em 69 h, 32 h, 6,4 h e 1 h, respectivamente. Já Johnson, Wang e Tang (2010) obtiveram a inativação, em blocos metálicos aquecidos, de 99% dos ovos do inseto em feijão mungu (*V. radiata*) em 150 min e 14 min para as temperaturas de 50 °C e 54 °C, respectivamente.

Figura 7 - Dados experimentais (médias) e desvios padrão das curvas de inativação térmica de ovos de *C. maculatus* nas temperaturas de (○) 50 °C, (□) 55 °C e (◇) 60 °C .



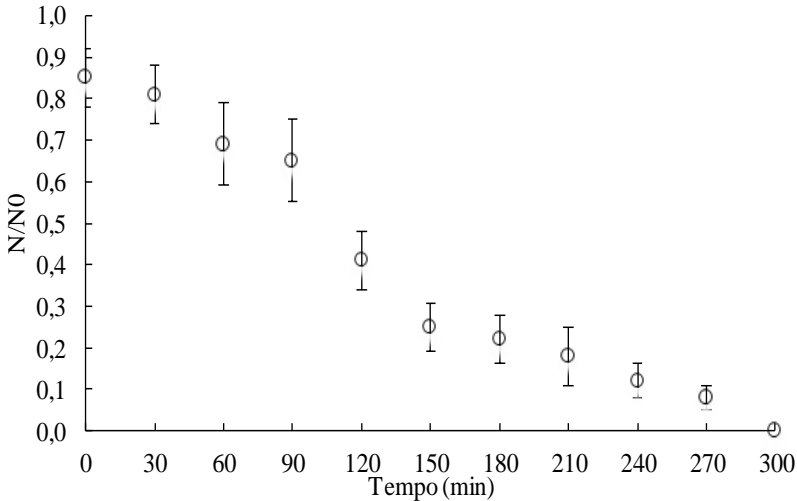
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

4.2.3 Inativação dos ovos por tratamento com vácuo

Na Figura 8 observa-se os dados experimentais da desinfestação de ovos de *C. maculatus* com a aplicação de vácuo, representado pela pressão absoluta de 4,2 kPa (32 mmHg). O tratamento a vácuo necessitou de um tempo maior do que o tratamento térmico para a eliminação total da população de insetos. A desinfestação dos ovos foi

realizada somente na maior pressão, pois as pressões estudadas não apresentaram diferenças na morte dos insetos adultos de *C. maculatus*.

Figura 8 - Dados experimentais médios e desvio padrão das curvas de desinfestação a vácuo de ovos de *C. maculatus* na pressão de (○) 4,2 kPa.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

O tratamento com vácuo apresentou comportamento sigmoide também para a desinfestação dos ovos em feijão fradinho. A inativação total dos ovos nos grãos ocorreu após 5 h à 4,2 kPa.

Finkelman et al. (2004, 2006) estudaram o comportamento da desinfestação de ovos a baixa pressão (6,7 kPa \pm 0,8 kPa) e temperatura de 30 °C em sementes de cacau. Os autores constataram que os ovos foram o estágio mais resistente, e o tempo para eliminação de 99% dos ovos foi de 22,2 h, 32,4 h, 44,8 h, 46,1 h, 49 h e 91,1 h para *T. castaneum*, *O. surinamensis*, *E. cautela*, *T. granarium*, *P. interpunctella* e *L. serricornis*, respectivamente.

Na Tabela 4 abaixo são apresentados os dados dos tratamentos realizados em ovos e adultos para a redução total da população de insetos de *C. maculatus*.

Tabela 4 – Tempos de tratamentos para a eliminação de 100% da população do inseto-praga *C. maculatus*.

Tratamentos	Tempo (min)	
	Adultos	Ovos
50°C	35	240
52°C	14	-
55°C	3	90
60°C	1	14
2,2 kPa	60	-
4,2 kPa	60	300

4.3 AJUSTES DE MODELOS MATEMÁTICOS AOS DADOS DE INATIVAÇÃO RESULTANTES DOS TRATAMENTOS FÍSICOS

4.3.1 Insetos adultos de *C. maculatus*

Na Tabela 5 são apresentados os índices estatísticos dos ajustes realizados para as curvas de morte dos insetos adultos em todos os tratamentos realizados.

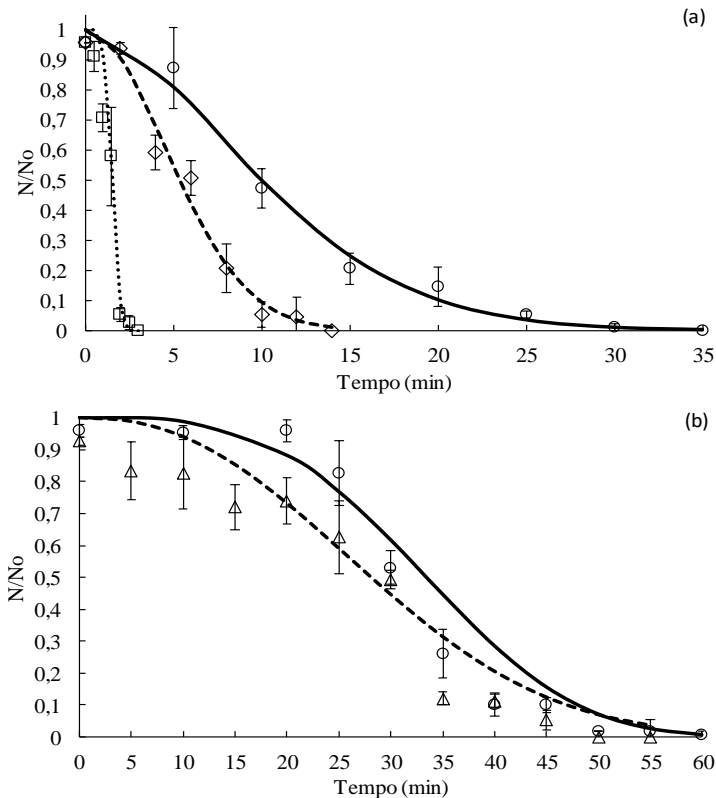
Tabela 5 - Ajustes de modelos matemáticos para os valores experimentais médios da cinética de morte de adultos de *C. maculatus*. Gompertz modificado (GOM); Gompertz modificado ajustado (GOM_{aj}); Weibull (WBL); Fermi (FER); Exponencial (EXP).

Tratamentos	Modelos	Índices Estatísticos	
		R ² _{aj}	RMSE
50 °C	GOM	0,991	0,035
	GOM aj	0,992	0,032
	WBL	0,988	0,040
	FER	0,987	0,044
	EXP	0,927	0,103
52 °C	GOM	0,968	0,069
	GOM aj	0,976	0,060
	WBL	0,979	0,058
	FER	0,977	0,059
	EXP	0,889	0,131
55 °C	GOM	0,928	0,114
	GOM aj	0,968	0,080
	WBL	0,987	0,049
	FER	0,985	0,053
	EXP	0,734	0,231
2,2 kPa	GOM	0,962	0,071
	GOM aj	0,965	0,066
	WBL	0,975	0,055
	FER	0,982	0,048
	EXP	0,824	0,151
4,2 kPa	GOM	0,998	0,018
	GOM aj	0,991	0,035
	WBL	0,979	0,055
	FER	0,982	0,050
	EXP	0,744	0,193

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Os cinco modelos representaram bem o comportamento das curvas de morte dos adultos, com valores de RMSE próximos de zero e de R^2_{aj} acima de 0,91, exceto no modelo Exponencial. O modelo de Weibull apresentou valores menores de RMSE e maiores R^2_{aj} . No tratamento a vácuo a 2,2 kPa, o modelo não se ajustou bem no início do processo. Na Figura 9 são apresentados os ajustes do modelo Weibull nas curvas de morte dos insetos.

Figura 9- Ajustes do modelo Weibull aos dados experimentais de morte de adultos de *C. maculatus*: (a) no tratamento térmico a 50 °C (—, ○), 52 °C (---, ◇) e 55 °C (....., □) e (b) nas pressões de 4,2 kPa (—, ○) e 2,2 kPa (-----, Δ).



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Os parâmetros obtidos nos ajustes estão apresentados na Tabela 6. O parâmetro fator de forma (α) aumentou com o aumento da temperatura e pressão. $\alpha > 1$ representa curvas de sobrevivência com concavidade para baixo e indica que os insetos foram afetados pelas variáveis de estudo. Os valores de β evidenciam que o aumento da temperatura e diminuição da pressão resultam em tempos menores de inativação dos insetos.

Tabela 6 - Parâmetros obtidos pelo ajuste do modelo Weibull aos dados experimentais médios de morte de adultos *C. maculatus*.

Tratamentos	β (min^{-1})	α
50 °C	12,35	1,716
52 °C	6,46	1,959
55 °C	1,66	4,704
2,2 kPa	32,84	2,342
4,2 kPa	37,39	3,313

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

4.3.2 Desinfestação de ovos de *C. maculatus*

Para a desinfestação dos grãos, todos os modelos matemáticos representaram bem o comportamento de inativação dos ovos com o emprego de temperatura ou vácuo. Os valores de R^2_{aj} foram próximos de 1 e RMSE próximos de zero, exceto no modelo Gompertz modificado (GOM), que não obteve bons ajustes, em nenhuma das condições. Na Tabela 7 são apresentados os índices estatísticos obtidos nos ajustes.

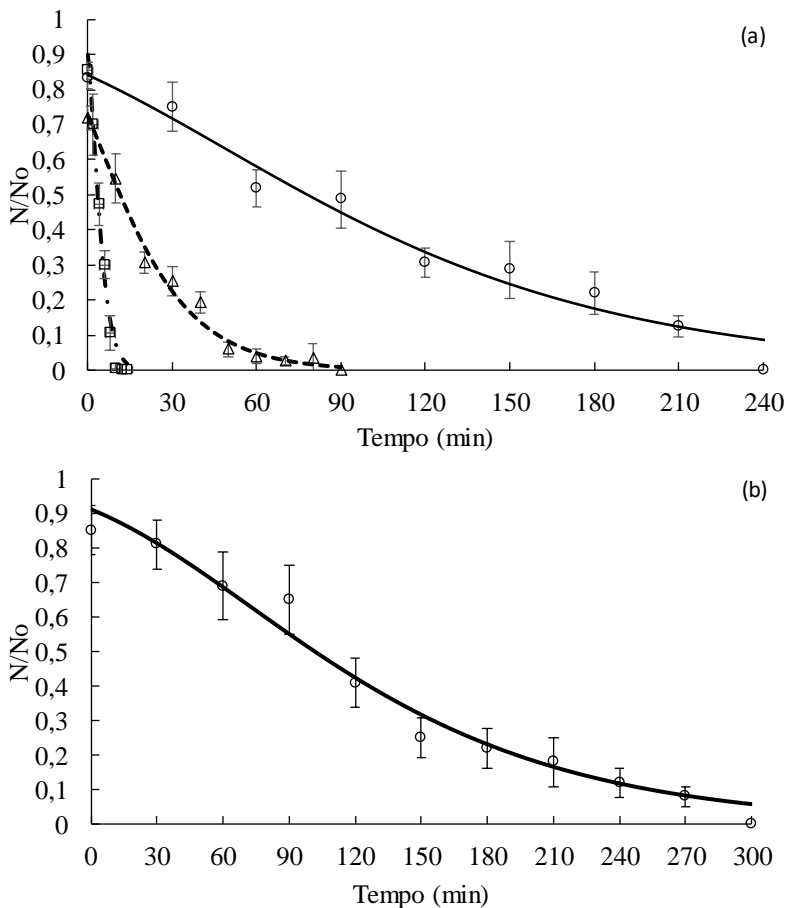
Dentre os modelos escolhidos para representar os dados experimentais, o modelo de GOM_{aj} foi o que melhor se ajustou, com base nos valores de R^2_{aj} mais próximos de 1 e menores RMSE, próximos de 0. Na Figura 10 são apresentados os ajustes do modelo GOM_{aj} aos dados experimentais de desinfestação de ovos através dos tratamentos térmico e a vácuo.

Tabela 7 - Ajustes dos modelos matemáticos para os valores experimentais médios da desinfestação de ovos de *C. maculatus*. Gompertz modificado ajustado (GOM_{aj}); Weibull (WBL); Fermi (FER); Exponencial (EXP).

Tratamentos	Modelos	Índices Estatísticos	
		R ² _{aj}	RMSE
50 °C	GOM aj	0,966	0,051
	WBL	0,912	0,082
	FER	0,912	0,082
	EXP	0,947	0,063
55 °C	GOM aj	0,982	0,034
	WBL	0,824	0,104
	FER	0,819	0,106
	EXP	0,974	0,040
60 °C	GOM aj	0,980	0,048
	WBL	0,947	0,077
	FER	0,948	0,078
	EXP	0,930	0,090
4,2 kPa	GOM aj	0,977	0,045
	WBL	0,951	0,067
	FER	0,954	0,065
	EXP	0,931	0,080

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Figura 10- Ajustes do modelo GOM aj aos dados experimentais na desinfestação de ovos de *C. maculatus* a) no tratamento térmico a) (—, ○) 50, (----, △) 55, (-·-·-, □) 60 °C b) no tratamento a vácuo (—, ○) na pressão 4,2 kPa.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Na Tabela 8 estão apresentados os parâmetros das curvas de morte para as temperaturas e pressão a partir do ajuste do modelo de GOM_{aj} aos dados experimentais. O modelo permite identificar características da curva de desinfestação de ovos de *C. maculatus*, como a velocidade de morte atingida no processo (k) e o tempo em que essa velocidade é máxima (t_L). Através dos parâmetros pode-se afirmar que a temperatura tem grande influência na velocidade de inativação dos

ovos, pois o aumento da temperatura aumenta significativamente os valores de k . O aumento de 10 °C resultou no aumento de 0,0124 min⁻¹ para 0,3395 min⁻¹. O tempo para atingir a velocidade máxima de morte foi maior na menor temperatura (50 °C) e na pressão de 4,2 kPa sendo de 49 min e 72 min, respectivamente. As velocidades de morte dos dois tratamentos (50 °C e 4,2 kPa) foram as mesmas, mas o tempo em que a velocidade de morte foi máxima foi maior no tratamento a vácuo.

Tabela 8 - Parâmetros obtidos pelo ajuste do modelo GOM_{aj} aos dados experimentais de desinfestação de ovos de *C. maculatus* em todas as condições.

Tratamentos	k (min⁻¹)	t_m (min)
50 °C	0,0124	49,0
55 °C	0,0540	4,8
60 °C	0,3395	2,5
4,2 kPa	0,0124	72,0

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

4.4 ANÁLISE FÍSICA DOS GRÃOS DE FEIJÃO FRADINHO DURANTE O COZIMENTO

4.4.1 Umidade e atividade de água do grão ao final dos tratamentos físicos

Na Tabela 9 são apresentados os valores médios da umidade (b.u%) e atividade de água dos grãos antes e após os tratamentos físicos.

Tabela 9- Umidade e atividade de água dos grãos.

Tratamentos	Umidade (b.u%)	Atividade de água
Controle	11,65 ± 0,9 ^b	0,63 ± 0,04 ^a
50 °C	7,99 ± 0,35 ^a	0,63 ± 0,08 ^a
55 °C	10,10 ± 0,21 ^{ab}	0,52 ± 0,01 ^a
60 °C	8,63 ± 0,06 ^a	0,45 ± 0,01 ^a
4,2 kPa	8,96 ± 0,29 ^a	0,50 ± 0,02 ^a

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

As umidades dos tratamentos a 50 °C, 60 °C e a 4,2 kPa apresentaram diferenças estatísticas a 5% de significância pelo teste de Tukey, em comparação com o controle. A redução da umidade dos grãos após o tratamento foi de até 3,7%. Conforme a instrução normativa n° 12, de 28 de março de 2008 apresentada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento- MAPA (2008), o percentual

de umidade recomendável para fins de comercialização do feijão fradinho é de no máximo 14%. Sendo assim, os valores encontrados no presente trabalho estão dentro do recomendado para a comercialização.

Mekasha et al. (2006) trataram termicamente grãos de feijão azuki (*V. angularis*) para a desinfestação de *C. maculatus* utilizando secador solar e observaram que um aquecimento a 80,9 °C por 90 min reduziu a umidade dos grãos em 2,8%. Murdock e Shade (1991) avaliaram a perda de umidade em grãos de feijão fradinho em tratamentos térmicos com temperaturas entre 25 °C a 70 °C por períodos de 2 h e observaram uma redução da umidade inicial de 9% para 7,5% durante o processo.

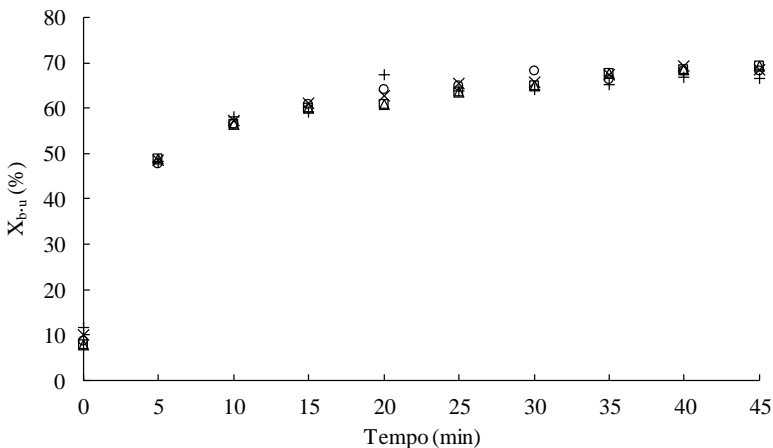
Purohit et al. (2013) estudaram a perda de umidade em feijão mungu tratado termicamente em forno microondas com diferentes potências, observando uma perda máxima de 1,2% de umidade em 50 g de feijão, na potência de 400 W durante 42 s.

A atividade de água foi afetada em relação aos tratamentos empregados, exceto no tratamento a 50 °C. Porém, não apresentaram diferenças significativas estatisticamente. Essa redução pode ser benéfica para prevenir o aparecimento de fungos osmofílicos, que precisam de uma atividade de água superior de pelo menos 0,6 para crescimento (BEAUCHAT, 1981). Lanaro et al. (2011) determinaram as propriedades físicas do grão de feijão fradinho e obtiveram uma atividade de água de 0,61, valor próximo do observado no presente estudo.

4.4.2 Umidade dos grãos durante o cozimento

Na Figura 11 é possível observar a cinética de variação da umidade durante o cozimento a 98 ± 2 °C. Nota-se que a absorção de umidade é mais rápida durante os primeiros 10 min, estabilizando a partir de 30 min de cozimento, onde o ganho de água atinge seu limite. As umidades finais dos grãos após o cozimento foram de 68%, 69,3%, 68,5, 68,3% e 66,8% para os tratamentos de 4,2 kPa (aplicação de vácuo), 50 °C, 55 °C, 60 °C (tratamentos térmicos) e amostra controle, respectivamente. Não houve diferenças significativas nas umidades finais das amostras submetidas aos diferentes tratamentos.

Figura 11– Dados experimentais (médias) do ganho de umidade em base úmida (b.u., %) durante o cozimento dos grãos submetidos a diferentes tratamentos (□) 4,2 kPa, (Δ) 50 °C, (×) 55 °C, (○) 60 °C, (+) Controle.



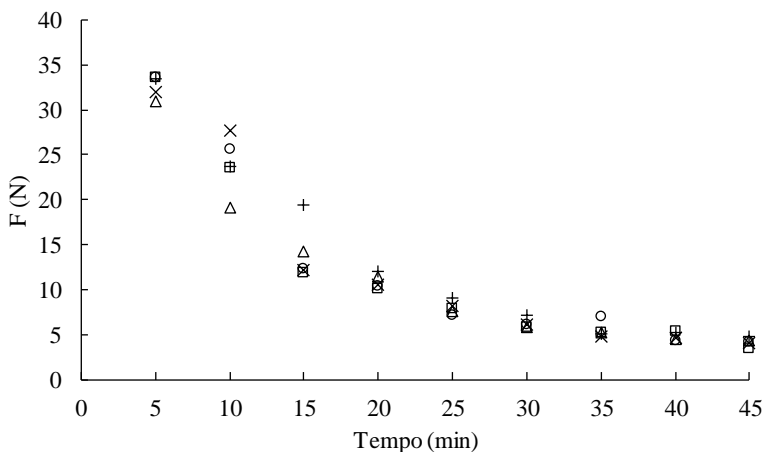
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Nicolin, Jorge e Jorge (2014) estudaram a hidratação de grãos de soja e observaram o mesmo comportamento encontrado no presente trabalho. Yildirim, Öner e Bayram (2011) avaliaram a absorção de água em grão de bico em tratamentos com ultrassom e diferentes temperaturas, observando a mesma resposta sobre o ganho de umidade. O menor tempo para atingir a umidade limite foi para a temperatura de 97 °C. Segundo Elias (2003), maiores temperaturas favorecem o rompimento da casca dos grãos, que normalmente regulam o ganho de umidade pelos grãos.

4.4.3 Propriedades mecânicas de textura dos grãos submetidos aos diferentes tratamentos e cozidos

Os resultados experimentais (médias) resultantes dos ensaios de compressão obtidos com os grãos submetidos aos diferentes tratamentos e cozidos são apresentados na Figura 12. É possível constatar que a força de compressão é inversamente proporcional ao ganho de umidade. A medida que o grão absorve água, a força necessária para deformar o grão torna-se menor. As amostras não apresentaram diferenças estatísticas a 5% de significância pelo teste de Tukey.

Figura 12 - Dados experimentais médios de compressão obtidos durante o cozimento de feijão fradinho nos tratamentos a (□) 4,2 kPa, (Δ) 50 °C, (×) 55 °C, (○) 60 °C, (+) Controle.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Sefa-Dedeh, Stanley e Voisey (1978) correlacionaram o amolecimento do grão de feijão fradinho com o tempo de cozimento, em que a perda da dureza do grão durante a cocção foi associada a mudanças estruturais, como o colapso da lamela média, resultando em suscetíveis separações das células e gelatinização do amido.

4.4.4 Cor

Os dados de cor (L^* , a^* e b^*) são apresentados na Figura 13. Ao analisarmos os três parâmetros verifica-se que todos os tratamentos e controle tiveram valores próximos, indicando que os tratamentos físicos não influenciaram na mudança de cor, sendo positivo para o uso destes tratamentos no controle de insetos. Os tratamentos não diferiram estatisticamente a um nível de 5% de significância pelo teste de Tukey. Na Figura 13-a) os valores de L^* indicam que o grão “in natura” é mais claro, quando comparado ao grão após o cozimento. Durante a cocção do grão, ele escurece do início até 10 min de cozimento (perde luminosidade), e mantém o valor de L^* até o final do processo. Com o aquecimento do grão durante o cozimento, pode-se dizer que houve escurecimento não enzimático (reação de Maillard), resultando na perda

de brilho e escurecimento do grão. Menores valores de L^* também foram atribuídos a reação de Maillard em feijão roxo (PARMAR et al., 2016) e arroz parbolizado (LAMBERTS et al., 2006).

Os valores de a^* em grãos “in natura” tiveram valores positivos, indicando tendência para a cor vermelha, mas ao decorrer do processo de cocção, a^* assume valores negativos, indicando tendência para a cor verde. O comportamento da cinética de modificação da cor mostrada na Figura 13-b) mostra uma oscilação durante o cozimento. Inicialmente há uma redução do valor de a^* , seguido de um pequeno aumento, o que pode também ter relação com o ganho de umidade do grão e com mudanças estruturais, como o rompimento da casca e gelatinização do amido.

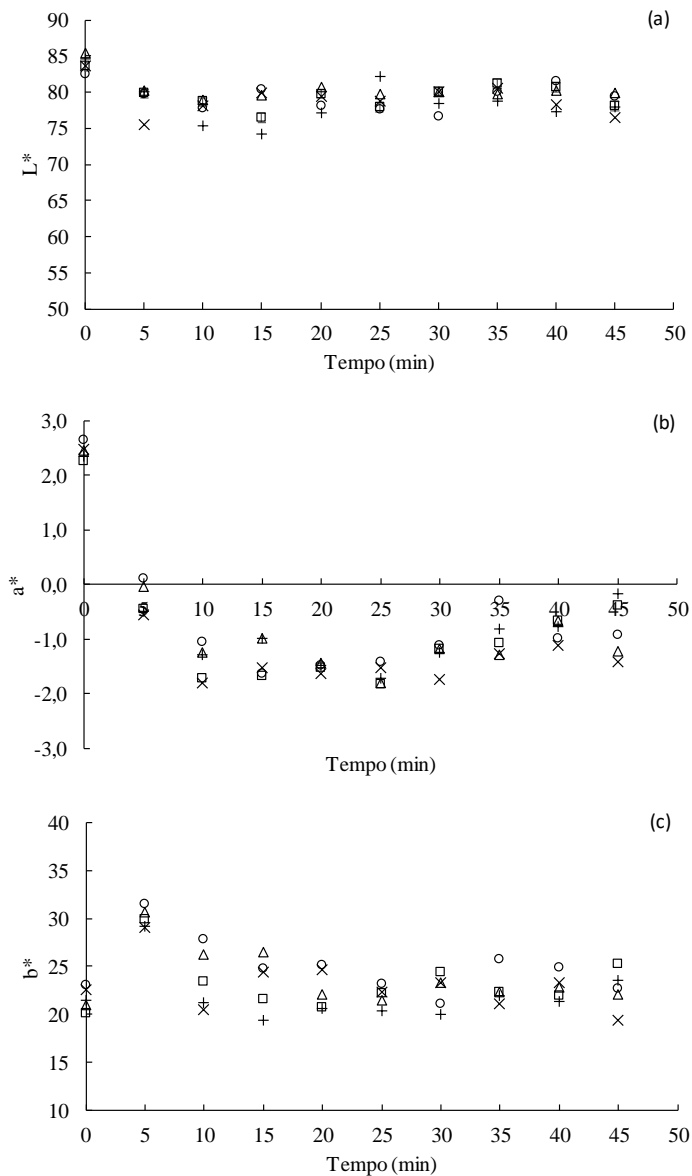
Na Figura 13-c) são apresentados os dados experimentais do parâmetro b^* durante o cozimento dos grãos. No início da cocção nota-se uma tendência para a cor amarela, indicada pelo aumento dos valores de b^* , porém há uma redução rápida em seguida, permanecendo com valores semelhantes aos iniciais até o final do processo.

Harshad, Savita e Basharat (2014) avaliaram o efeito do cozimento nas propriedades físico-químicas e funcionais de grãos de trigo, feijão mungo, sorgo, cevada, milho e linhaça para mingal instantâneo. Eles observaram que após o cozimento houve a diminuição dos valores de L^* , evidenciando a perda de brilho, enquanto os valores de a^* aumentaram e os de b^* diminuíram.

Odjo et al. (2012) relataram que tratamentos térmicos em temperaturas entre 60 °C e 120 °C resultaram na modificação dos parâmetros L^* , a^* e b^* de grãos de milho, indicando que os parâmetros de cor podem servir como indicadores sobre o uso de temperaturas excessivas de tratamento.

A partir dos resultados obtidos, é possível observar que os dois tratamentos podem ser alternativas para a desinfestação do *C. maculatus*. Em ambos os tratamentos, não houve alterações nas qualidades físicas dos grãos (cor, umidade e textura) e obtiveram tempos curtos de processo. Com isso, o tratamento térmico por aquecimento condutivo pode ser aplicado através de esteira aquecida e o tratamento a vácuo através de um tanque de estocagem, onde o tratamento, tanto a vácuo quanto o tratamento térmico, acontece nos grãos antes de realizar a armazenagem.

Figura 13 – Dados experimentais médios de cor a) L^* , b) a^* , c) b^* obtidos durante o cozimento de feijão fradinho nos tratamentos (\square) 4,2 kPa, (Δ) 50 °C, (\times) 55 °C, (\circ) 60 °C, (+) Controle.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

5 CONCLUSÕES

Os tratamentos físicos avaliados neste estudo podem ser utilizados para o controle de *C. maculatus*. Tratamentos térmicos a 50 °C, 52 °C e 55 °C e sob vácuo a 4,2 kPa são eficientes para a desinfestação de ovos de *C. maculatus* e não alteram as propriedades físicas dos grãos de feijão durante o cozimento.

A morte de insetos adultos e desinfestação de grãos por aquecimento condutivo é mais rápida que o tratamento a vácuo, necessitando de apenas de 1 min e 14 min a 60°C, respectivamente.

No tratamento com vácuo (P= 4,2 kPa) são necessários 60 min para a morte dos insetos adultos e 300 min para a desinfestação de ovos. Embora os tempos de tratamentos sejam maiores, a aplicação de vácuo em um tanque de estocagem de grãos, de pequeno volume, é simples e prática, pois a pressão é homogênea em todo o tanque. Com isso, esse tratamento pode ser aplicado em pequena escala e escala familiar com facilidade, necessitando apenas de um tanque suporte aplicação de vácuo e uma bomba de vácuo corretamente dimensionada. Por outro lado, o aquecimento homogêneo de grãos em esteiras, em processos contínuos, deve ser mais adequado para maiores volumes.

O comportamento de morte de insetos e sua desinfestação dos grãos podem ser descritos através de modelos matemáticos. Os modelos de Weibull, Gompertz modificado, Gompertz modificado ajustado, Exponencial e Fermi tiveram bons ajustes e descreveram bem o comportamento das curvas de morte dos insetos de *C. maculatus*. O modelo de Weibull e Gompertz modificado ajustado obtiveram os melhores ajustes para descrever a morte de adultos e ovos, respectivamente.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Estudar o comportamento de todos os estágios de desenvolvimento do inseto nos tratamentos térmico e com vácuo;
- Realizar a desinfestação em todos os estágios de desenvolvimento do inseto utilizando os dois tratamentos analisados;
- Avaliar diferentes taxas de descompressão no tratamento a vácuo para desinfestação de grãos de feijão;
- Analisar as propriedades físico-químicas e nutricionais dos grãos após os tratamentos físicos;
- Avaliar as possibilidades de uso de grãos de feijão infestados com larvas de *C. maculatus*, após os tratamentos físicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, A. D. L.; SILVA, J. DE S. E; BERBERT, P. A. Controle de Pragas por Atmosferas Controladas. In: SILVA, J. DE S. E (Ed.). . **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas 2**. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, p. 407–416, 2008.

AGROFIT Sistema de agrotóxicos fitossanitários. Disponível in: <<http://agrofit.agricultura.org.br/agrofit_cons/principal_agrofit_cons . Acesso em 18 de dezembro. de 2018. 2015.

ALMEIDA, F. de A.; ALMEIDA, S. A. de; SANTOS, N. R. dos; GOMES, J. P.; ARAÚJO, M. E. Efeitos de extratos alcoólicos de plantas sobre o caruncho do feijão vigna (*Callosobruchus maculatus*). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 585-590, 2005.

ARTHUR, F. H.; THRONE, J. E.; MAIER, D. E.; MONTROSS, M. D. Impact of aeration on maize weevil (Coleoptera: Curculionidae) populations in corn stored in the northern United States: Simulation studies. **American Entomologist**, v.47, n.2, p.104-110, 2001.

BALE, J. S.; MASTERS, G. J.; HODKINSON, I. D.; AWMACK, C.; BEZEMER, T. M.; BROWN, V. K.; BUTTERFIELD, J.; BUSE, A.; COULSON, J. C.; FARRAR, J.; GOOD, J. E. G.; HARRINGTON, R.; HART LEY, S.; JONES, T. H.; LINDROTH, R. L.; PRESS, M. C.; SYMRNILOUDIS, I.; WATT, A.; WHITTAKER, J. B. Herbivory in global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. **Global Change Biology**, v. 8, n. 1, p. 1-16, 2002.

BANKS, H. J.; FIELDS, P. G. Physical methods for insect control in storedgrain ecosystems. In: JAYAS, D. S.; WHITE, N. D. G.; MUIR, W. E. **Stored grain ecosystems**. p. 353-409. New York: Marcell Dekker, 1995.

BARDIN, M.; AJOUZ, S.; COMBY, M.; LOPEZ-FERBER, M.; GRAILLOT, B.; SIEGWART, M.; NICOT, P. C. Is the efficacy of biological control against plant diseases likely to be more durable than that of chemical pesticides? **Frontiers in Plant Science**, v. 6, p. 566, 2015.

BEAUCHAT, L. R. Microbial stability as affected by water activity. **Cerel Food World**. N. 26, p. 345-349. 1981.

BRITO, S. Armazenamento inadequado de grãos resulta em cerca de 15% de perdas. Embrapa Milho e Sorgo, Brasília. 2015. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/noticia/3860638/armazenamento-inadequado-de-graos-resulta-em-cerca-de-15-de-perdas>> Acesso em: 10 de novembro de 2018.

BUENO, V. H. P. et al. Controle biológico e manejo de pragas na agricultura sustentável. Departamento de Entomologia/UFLA.2015.

CÁRDENAS-PÉREZ, S., CHANONA-PÉREZ, J., MÉNDEZ-MÉNDEZ, J. V., CALDERÓN-DOMÍNGUEZ, G., LÓPEZSANTIAGO, R., PEREA-FLORES, M. J., & ARZATE-VÁZQUEZ, I. Evaluation of the ripening stages of apple (Golden Delicious) by means of computer vision system. **Biosystems engineering**, v. 159, p. 46-58, 2017.

CHAGAS, H. A.; BASSETO, M. A.; ROSA, D. D.; TOPPA, E. V. B.; FURTADO, E. L.; ZANOTTO, M. D.; Avaliação de fungicidas, óleos essenciais e agentes biológicos no controle de *Amphobotrys ricini* em mamoneira (*Ricinus communis* L.). *Summa Phytopathol., Botucatu*, v. 40, n. 1, p. 42-48, 2014.

CHAKRAVERTY, A. et al. Handbook of Postharvest Technology. New York: Marcel Dekker, 2003.

COSTA, J. Secagem de iogurte natural por cast-tape sob vácuo. Dissertação (mestrado)- Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. Florianópolis, SC, 2017.

CUPERUS, G. W.; PRICKETT, C. K.; BLOOME, P. D.; PITTS, J. T. Insect populations in aerated and unaerated stored wheat in Oklahoma. **Journal Kansas Entomology Society**, v.59, n.4, p.620-627, 1986.

CONAB, Companhia nacional de abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de grãos. V.5 Safra 2017/2018 - 7º Levantamento de grãos, abril de 2018. Disponível em: https://www.conab.gov.br/.../feijao/.../20784_8711e3cfcea8933783cb6a3

[03baf5b2c](#). Acesso em: 05 de setembro de 2018. Summa Phytopathol., Botucatu, v. 40, n. 1, p. 42-48, 2014.

DUTRA, K. A.; OLIVEIRA, J. V.; NAVARRO, D. M. A. F.; BARBOSA, D. R. S.; SANTOS, J. P. O.; Control of *Callosobruchus maculatus* (FABR.) (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) in *Vigna unguiculata* (L.) WALP. with essential oils from four *Citrus* spp. plants. **Journal of Stored Products Research** Volume 68, p. 25-32, Jullho 2016.

ELIAS, M. C. Secagem e armazenamento de grãos de milho e de sorgo na propriedade rural. Pelotas: Pólo de Alimentos – UFPEL, 84p. Relatório técnico. 2003.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Strategic work of FAO to help eliminate hunger and malnutrition. Strategic programme to help eliminate hunger, food insecurity and malnutrition, p. 28, 2017.

FARONI, L. R. D.; SILVA, J. DE S. E. Manejo de Pragas no Ecosistema de Grãos Armazenados. In: SILVA, J. DE S. E (Ed.). . Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, p. 371–405, 2008.

FERREIRA; T. C. NASCIMENTO, D. M; SILVA, E.O.; Métodos Alternativos para controle de insetos-praga em Sementes **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 60, n. 1, p. 112-119, jan./mar. 2017.

FIELDS, P.G. The control of stored product insects and mites with extreme temperatures. **J. Stored Prod. Res.** 28: p. 89-118, 1992.

FINKELMAN, S.; NAVARRO, S.; ISIKBER A.; DIAS, D.; AZRIELI, A.; RIDNER, M.; LOTAN, Y.; DEBRUIN, T. Application of vacuum to sealed flexible containers: A viable alternative to disinfestation of durable commodities with methyl bromide, p. 145-149, 2002.

FINKELMAN, S.; NAVARRO, S.; RINDNER, M.; DIAS, D., AZRIELI, A.; Effect of low pressures on the survival of cacao beans insects stored at 18 °C. **Journal of Stored Products Research** 39, p. 423–431. 2003.

FINKELMAN, S.; NAVARRO, S.; RINDNER, M.; DIAS, D., AZRIELI, A.; Effect of low pressures on the survival of three cocoa pests at 30 °C. **J. Stored Prod. Res.** 40: p. 499-506. 2004.

FINKELMAN, S.; NAVARRO, S.; RINDNER, M.; DIAS, R. Effect of low pressure on the survival of *Trogoderma granarium* Everts, *Lasioderma serricorne* (F.) and *Oryzaephilus surinamensis* (L.) at 30 °C. **Journal of Stored Products Research** 42, p. 23-30. 2006.

FLINKER, C. L. L. Controle de insetos: uma breve revisão. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica, vols. 8 e 9, p.169-189, 2011/2012.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. S. R.; RODRIGUES, E. V.; Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: Embrapa Meio-Norte, p.84, 2011.

GALLO, D. Entomologia Agrícola. FEALQ, Piracicaba – SP, p. 791-797, 2002.

GOLOB, P.; FARRELL, G.; ORCHARD, J. E. Crop Post-Harvest : Science and Technology, volume 1: Principles and practice. [s.l.] **Blackwell Science**, v. 1, 2002.

HAGSTRUM, D. W.; PHILLIPS, T. W.; CUPERUS, G. Stored Product Protection. Manhattan: K-State Research and Extension, p.350, 2012.

HALLMAN, G. J.; DENLINGER, D. L. **Temperature Sensitivity in Insects and Application in Integrated Pest Management.** [s.l.] Westview Press, 1998.

HAJEK, A.E. Natural Enemies: An Introduction to Biological Control. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. p. 378.

HANSEN, J. D.; DRAKE, S .R.; MOFFITT, H. R.; ROBERTSON, J. L.; ALBANO, D. J.; HEIDT, M. L. A two-component quarantine treatment for postharvest control of codling moth on apple cultivars intended for export. HortTech. 10: p. 186–194. 2000.

HANSEN, J. D.; JOHNSON, J. A.; WINTER, D. A.; History and use of heat in pest control: a review. **International Journal of Pest Management**. Vol. 57, No. 4, p. 267–289 October–December 2011.

HARSHAD M. M., SAVITA S., BASHARAT N. D. Instant multigrain porridge: effect of cooking treatment on physicochemical and functional properties. **Journal Food Science and Technology**, 51: p. 97–103. 2014.

HOY, M.A. Natural Enemies Important in biological control. In: CAPINERA, J. (Ed.) **Encyclopedia of entomology**. 2. ed. Heidelberg: Springer, p. 2555-2567, 2008.

HOWE, R. W. Temperature effects on embryonic development in insects. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 12, n. 1, p. 15-42, 1967.

HUANG, Z.; REN, S.; MUSA, P. D. Effects of temperature on development, survival, longevity, and fecundity of the Bemisia tabaci Gennadius (Homoptera: Aleyrodidae) predator, Axinoscymnus cardilobus (Coleoptera: Coccinellidae). **Biological Control**, San Diego, v. 46, n. 2, p. 209-215, 2008.

ILELEJI, K. E.; MAIER, D. E.; WOLOSHUK, C. P. Evaluation of different temperature management strategies for suppression of Sitophilus zeamais (Motschulsky) in stored maize. **Journal of Stored Products Research**, v.43, n.4, p.480- 488, 2007.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 1ª ed. digital. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estatística da Produção Agrícola Setembro de 2017. Disponível em: https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201709_6.shtm. Acesso em: 03 setembro de 2018.

JOHNSON, J. A.; VALERO, K. A. Use of Commercial Freezers to Control Cowpea Weevil, *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae), in Organic Garbanzo Beans. **Journal of Economic Entomology**, 96(6), p. 1952–1957. 2003.

JOHNSON, J. A.; WANG, S.; TANG, J. Thermal death kinetics of fifth-instar *Plodia interpunctella* (Lepidoptera: Pyralidae). **J Econ Entomol.** 96(2): p. 519–524. 2003.

JOHNSTON, S.L., LEE JR., R.E. Regulation of supercooling and nucleation in a freeze intolerant beetle (*Tenebrio molitor*). **Cryobiology** 27, p. 562-568. 1990.

KAMPINA, H. H. Cell biological effects of hyperthermia alone or combined with radiation or drugs: a short introduction to newcomers in the field. *Int J Hyperth.* 22, p. 191–196. 2006.

LALE, N. E. S.; VIDAL, S. Mortality of different developmental stages of *Callosobruchus maculatus* F. and *Callosobruchus subinnotatus* Pic. (Coleoptera: Bruchidae) in bambara groundnut *Vigna subterranea* (L.) Verde. seeds exposed to simulated solar heat. **Journal of Plant Diseases and Protection** 107 (5), p. 553-559, ISSN 0340-8159, 2002.

LANARO, N. ; BAJAY, L. G.; QUEIROZ, V. M. P.; PINTO, R. C. S.; LEITÃO, I. G. A.; LESSIO, B. C.; AUGUSTO, P. E. D. Determinação de propriedades físicas do feijão fradinho. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.13, n.1, p. 27-35, 2011.

LAMBERTS, L., BRIJS, K., MOHAMED, R., VERHELST, N., DELCOUR, J. A. Impact of browning reactions and bran pigments on color of parboiled rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 54, p. 9924–9929. 2006.

LEE JR., R. E. Insect Cold-Hardiness: To Freeze or Not to Freeze. **Bioscience**, v. 39, n. 5, p. 308–313, 1989.

LI, W.; WANG, K.; CHEN, L.; JOHNSON, J. A.; WANG, S. Tolerance of *Sitophilus zeamais* (Coleoptera: Curculionidae) to heated controlled atmosphere treatments. **Journal of Stored Products Research**, v. 62, p. 52–57, 2015.

LIMA, T. C., GEREMIAS, L. D., PARRA, J. R. Efeito da temperatura e umidade relativa do ar no desenvolvimento de *Liriomyza sativae* Blanchard (Diptera: Agromyzidae) em *Vigna unguiculata*. **Neotropical Entomology**, Piracicaba, N 38(6), p. 727-733, 2009.

LOGANATHAN, M.; JAYAS, D.S.; FIELDS, P.G.; WHITE, N.D.G.; Low and high temperatures for the control of cowpea beetle, *Callosobruchus maculatus* (F.) (coleoptera: Bruchidae) in chickpeas **Journal of Stored Products Research** 47, p. 244-248, 2011.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANCA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. Principais pragas e métodos de controle em sementes durante o armazenamento – Serie Sementes. Londrina: Embrapa Soja, 2010.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANCA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. Monitoramento da liberacao do gas PH₃ por pastilhas de fosfina usadas para expurgo de sementes. **Informativo Abrates**, v. 21, n. 3, p. 57-60, 2011.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F. C.; FRANCA-NETO, J. B.; HENNING, A. A. Expurgo da semente de soja com fosfina e seu efeito na qualidade fisiológica – Serie Sementes. Londrina: Embrapa Soja. 12 p. (Embrapa Soja. Circular tecnica, 97), 2013.

LORINI, I.; KRZYZANOWSKI, F.C.; FRANÇA-NETO, J. B.; HENNING, F. A.; Manejo Integrado de Pragas de Grãos e Sementes Armazenadas. 1. ed. Brasília: Embrapa, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2015.

MAPA. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 12, DE 28 DE MARÇO DE 2008. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA, 2008.

MARANGONI, C. et al. Utilização de óleos essenciais e extratos de plantas no controle de insetos. **Revista de Ciências Ambientais**, v.6, n.2, p.95-112, 2012.

MCKELLAR, R. C.; LU, X. **Modeling Microbial Responses in Food**. Boca Raton: CRC Press, 2004.

MEDEIROS, W. R.; SILVA, J. D. C.; SILVA, P. R. R.; FILHO, J. E. G.; PADUA, L. E. M.; FRANÇA, S. M.; Resistência de genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] ao ataque do caruncho *Callosobruchus maculatus* (Fabr.) (Coleoptera: Chrysomelidae). **EntomoBrasilis**, 10(1), p. 19-25, 2017.

MEKASHA, C.; DZOLKIFLI, O.; YUSUF, S.; RITA, M.; NOORMA, O. Effect of heat treatment on developmental stages of *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Bruchidae) in stored adzuki bean *Vigna angularis*. **International Journal of Tropical Insect Science**. Vol. 26, No. 4, p. 273–279, 2006.

MORAES, J. O., SCHEIBE, A. S., SERENO, A., LAURINDO, J. B. Scale-up of the production of cassava starch based films using tape-casting. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 4, p. 800-808, 2013.

MURDOCK, L. L.; SHADE, R. E.; Eradication of Cowpea Weevil (Coleoptera: Bruchidae) in Cowpeas by Solar Heating. **American Entomologist**, 37(4), p. 228–231. 1991.

NAKASHIMA, S. M. K.; ANDRÉ, C. D. S.; FRANCO, B. D. G. M. Revisão: Aspectos Básicos da Microbiologia Preditiva. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 3, p. 41–51, 2000.

NAVARRO, S. The effects of low oxygen tensions on three stored-product insect pests. *Phytoparasitica* 6: p. 51-58. 1978.

NAVARRO, S.; CALDERON, M. Mode of action of low atmospheric pressures on *Ephestia cautella* (Wlk.) pupae. *Experientia* 35: p. 620-621. 1979.

NEVES, A. C.; CÂMARA, J. A. S.; CARDOSO, M. J.; SILVA, P. H. S.; SOBRINHO, C. A. Cultivo do feijão-caupi em sistema agrícola familiar. Teresina- PI: Embrapa Meio norte, 2011. , p. 15 (Circular Técnica, 51).

NICOLIN, D. J.; JORGE, R. M. M.; JORGE, L. M. M. Stefan Problem Approach Applied to the Diffusion Process in Grain Hydration. **Transport in Porous Media**, v. 102, p. 387-402, 2014.

NODARI, R. O.; GUERRA, M. P. A agroecologia: estratégias de pesquisa e valores. **Estudos Avançados**, v. 83, n. 29, p. 183-207, 2015.

NORRIS R.F.; CASWELL-CHEN E.P.; KOGAN M. Concepts in integrated pest management. Pearson Education Inc. Upper Saddle River, New Jersey, p. 586 . 2003.

ODJO, S.; MALUMBA, P.; DOSSOU, J.; JANAS, S.; BÉRA, F. Influence of drying and hydrothermal treatment of corn on the denaturation of salt-soluble proteins and color parameters. **Journal of Food Engineering** 109, p. 561–570. 2012.

OKASHA, A. Y. K.; HASSANEIN, A. M. M.; FARAHAT, A. Z. Effects of sub-lethal high temperature on an insect, *Rhodnius prolixus* (Sta^o 1.). *J Exp Biol.* 53: p. 25–36. 1970.

OLIVEIRA, G. P. de; MORAIS, O. M.; ROCHA, P. A. da; NUNES, R. T. C.; ÁVILA, J. S. Avaliação de plântulas como indicador da maturação de sementes de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) Congresso Nacional de Feijão-Caiupi, 3., Recife, 2013.

OLIVEIRA, C. M., AUD, A. M., MENDES, S. M., FRIZZAS, M. R. Crop losses and the economic impact of insect pests on Brazilian agriculture. **Crop Protection**, v. 56, p. 50–54, 2014.

OLIVEIRA, J. V.; FRANÇA, S. M.; BARBOSA, D. R. S.; DUTRA, K. A.; ARAUJO, A. M. N.; NAVARRO, D. M. A. F.; Fumigation and repellency of essential oils against *Callosobruchus maculatus* (Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae) in cowpea. *Pesquisa agropecuária brasileira*, Brasília, v.52, n.1, p.10-17, jan. 2017.

PARMAR, N., SINGH, N., KAUR, A., VIRDI, A. S., THAKUR, S. Effect of canning on color, protein and phenolic profile of grains from kidney bean, field pea and chickpea. **Food Research International**, 89, p. 526-532. 2016.

PARRA, J. R. P. A biologia de insetos e o manejo de pragas: da criação em laboratório à aplicação em campo, p.1-29. Guedes J C, Costa I D, Castiglioni E (eds) Bases e técnicas do manejo de insetos. UFSM/CCR/DFS, Santa Maria, p. 234, 2000.

PUROHIT, P.; JAYAS, D. S.; YADAY, B. K.; CHELLADURAI, V.; FIELDS, P. G.; WHITE, N. D. G. Microwaves to control *Callosobruchus maculatus* in stored mung bean (*Vigna radiata*). **Journal of Stored Products Research** 53, p. 19-22, 2013.

QUINTELA, E.D., NEVES, B.P. das, QUINDERÉ, M.A.W., ROBERTS, D.W. Principales plagas del caupi en el Brasil. Goiânia: Embrapa-Cnpaf. (Embrapa-Cnpaf.Documentos, 35). 1991.

ROCHA, M. M. Mercado e comercialização do feijão- caupi. Empresa Brasileira de Pesquisa e Agropecuária- EMBRAPA. Brasília-DF. 2017. Disponível em: < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao-caupi/arvore/CONTAG01_72_510200683537.html> Acesso em: 18 de dezembro de 2018.

SALT, R.W. Principles of insect cold hardiness. Annu. Rev. Entomol. 31, p. 55-74. 1961.

SEFA-DEDEH, S.; STANLEY, D. W.; VOISEY, P. W. Effect of storage time and cooking conditions on the hard-to-cook defect in cowpeas (*Vigna unguiculata*). **Journal Food Science**. 44: p. 790–796 (1978).

SENTIS, A.; HEMPTINNE, J.-L.; BRODEUR, J. Effects of simulated heat waves on an experimental plant–herbivore–predator food chain. **Global change biology**, v. 19, n. 3, p. 833-842, 2013.

SHARMA, K. K.; SINGH, U. S.; SHARMA, P.; KUMAE, A. SHARMA, L. Seed treatments for sustainable agriculture: a review. **Journal of Applied and Natural Science**, v. 7, n. 1, p. 521-539, 2015.

SILVA, J. DE S. E et al. Aeração de Grãos Armazenados. In: SILVA, J. DE S. E (Ed.). **Secagem e Armazenagem de Produtos Agrícolas**. Viçosa: Editora Aprenda Fácil, p. 269–295, 2008.

SLABBER S., CHOWN, S. L. Differential responses of thermal tolerance to acclimation in the sub-Antarctic rove beetle *Halmaeus atriceps*. **Physiol Entomol**. 30, p. 195–204. 2005.

SLUTSKY, A. *Callosobruchus maculatus* . 2019. Disponível em: < <http://www.alsphotopage.com/image/show/id/15051>>. Acesso em: 9 de dezembro de 2018.

SOUZA, V. N.; OLIVEIRA, C. R. F.; MATOS, C. H. C.; ALMEIDA, D. K.F. Fumigation toxicity of essential oils against *Rhyzopertha dominica* F. in stored maize grain. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 29, n. 2, p. 435 – 440, abr- jun., 2016.

TUDA, M.; WU, L.-H.; YAMADA, N.; WANG, C.-P.; WU, W.-J.; BURANAPANICHPAN, S.; KAGOSHIMA, K.; CHEN, Z.-Q.; TERAMOTO, K. K.; KUMASHIRO, B. R.; HEU, R. Host shift capability of a specialist seed predator of an invasive plant: roles of completion, population genetics and plant chemistry. **Biological Invasions**, n. 16, p. 303-313, 2. 2014.

WHITE, N.D.G.; JAYAS, D.S. Controlled atmosphere storage of grain. Chapter 10, pp. 235-251. In: A. Chakraverty, A.S. Majumdar, G.S.W. Raghavan and H.S. Ramaswamy (Eds.). **Handbook of Postharvest Technology**. Cereals, fruits, vegetables, tea, and spices. Marcel Dekker Inc., New York. 2003.

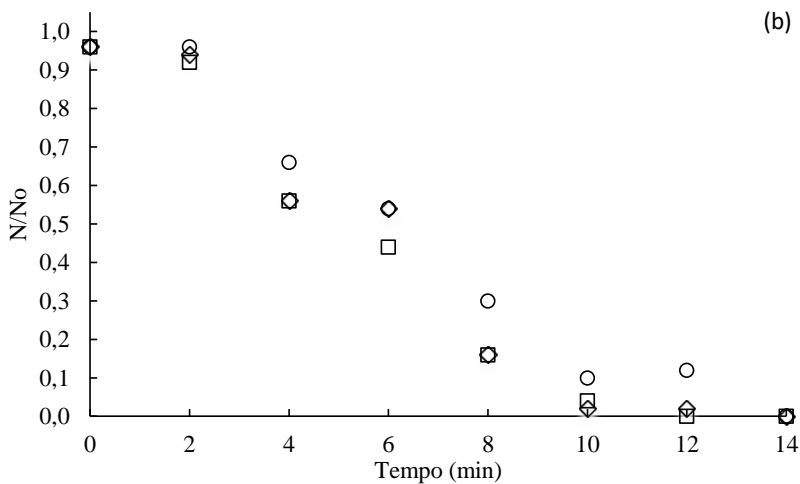
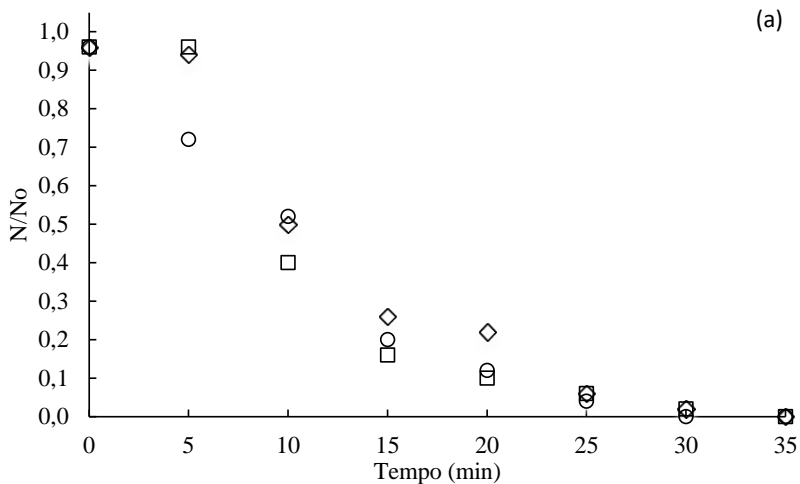
YAN, R.; HUANG, Z.; ZHU, H.; JOHNSON, J.; WANG, S. Thermal death kinetics of adult *Sitophilus oryzae* and effects of heating rate on thermotolerance. **Journal of Stored Products Research**, v. 59, p. 231–236, 2014.

YILDIRIM, A.; ÖNER, M. D.; BAYRAM, M. Fitting Fick's model to analyze water diffusion into chickpeas during soaking with ultrasound treatment. **Journal of Food Engineering**, v. 104, p. 134- 142, 2011.

APÊNDICE A

Dados experimentais das triplicatas de morte por aquecimento condutivo e a vácuo de *C. maculatus*.

Figura A - 1: Dados das triplicatas experimentais de morte de insetos adultos de *C. maculatus* nos tratamentos com temperaturas e pressões de (a) 50 °C, (b) 52 °C, (c) 55 °C, (d) 2,2 kPa, (e) 4,2 kPa.



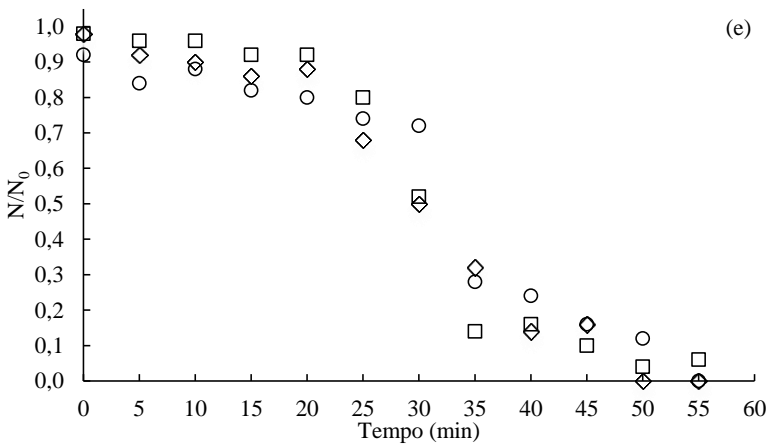
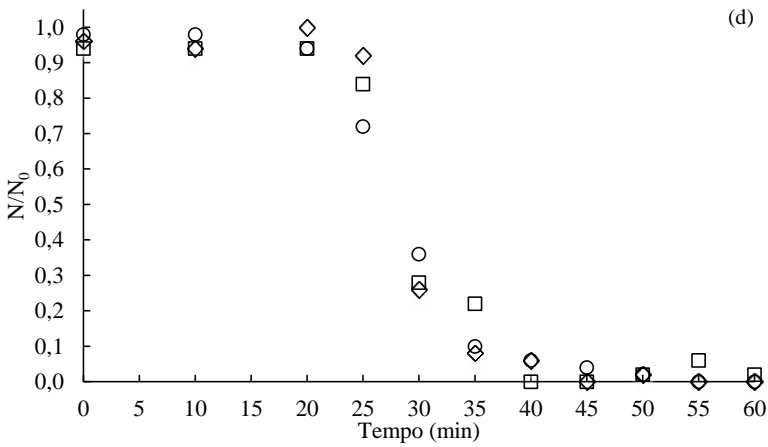
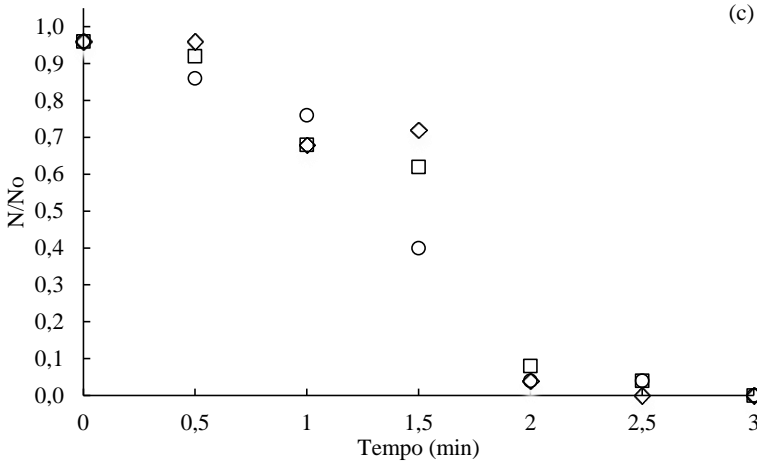
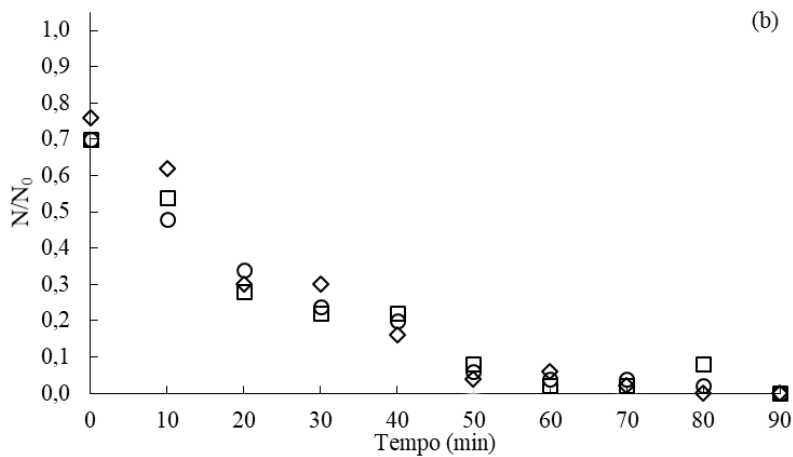
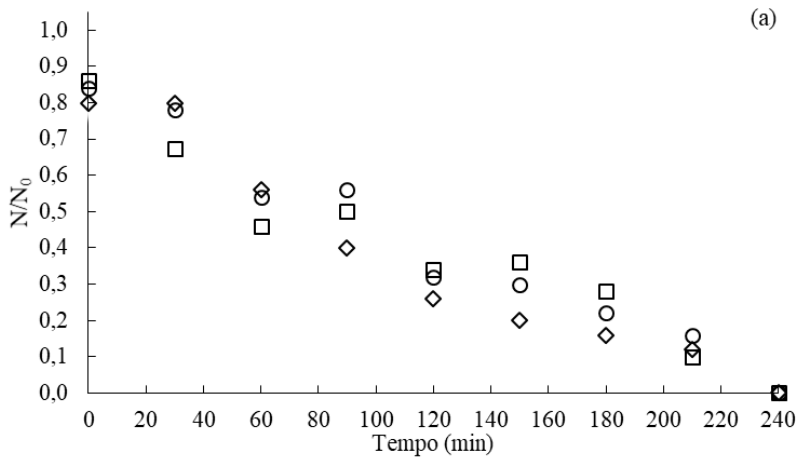
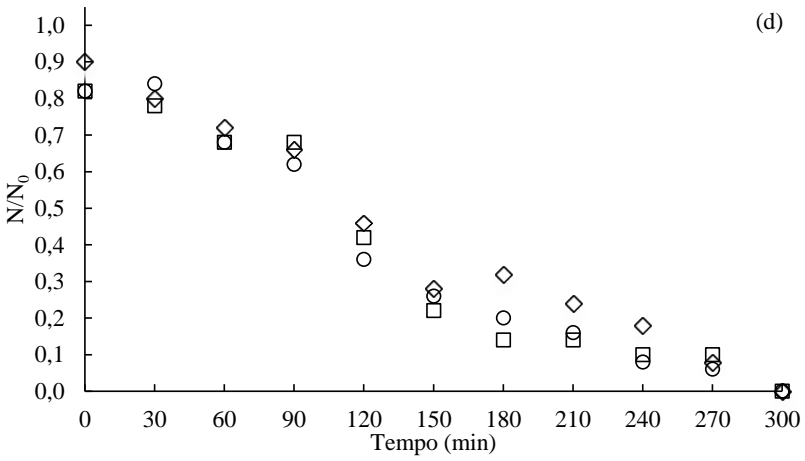
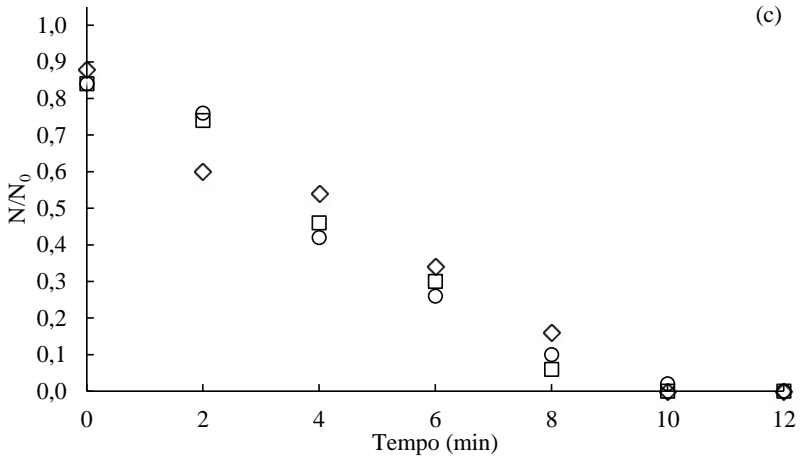


Figura A- 2 : Dados das triplicatas experimentais da desinfestação de ovos de *C. maculatus* nos tratamentos com temperaturas e pressões de (a) 50 °C, (b) 55 °C, (c) 60 °C, (d) 4,2 kPa.





APÊNDICE B

Dados experimentais médios e desvio padrão das análises de compressão, umidade e cor.

Figura B-1- Dados experimentais médios e desvio padrão de compressão obtidos durante o cozimento de feijão fradinho nos tratamentos de referência (\square) 4,2 kPa, (Δ) 50 °C, (\times) 55 °C, (\circ) 60 °C, (+) Controle.

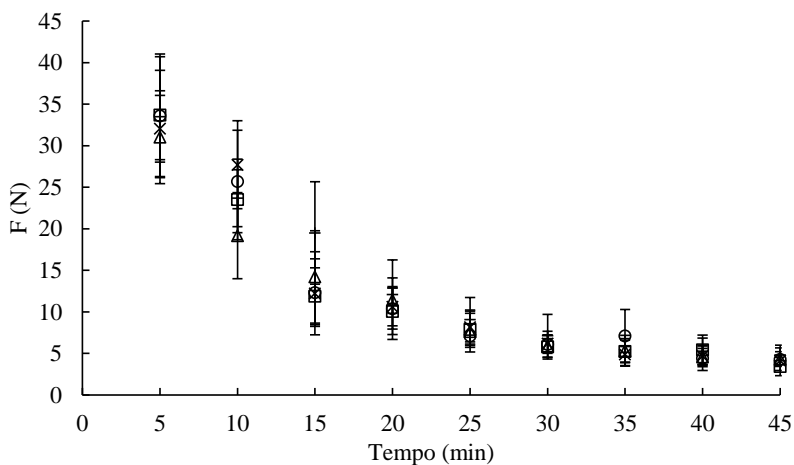


Figura B-2 – Dados experimentais médios e desvio padrão do ganho de umidade ($X_{b,u}$ %) durante o cozimento nos tratamentos de referência (\square) 4,2 kPa, (Δ) 50 °C, (\times) 55 °C, (\circ) 60 °C, (+) Controle

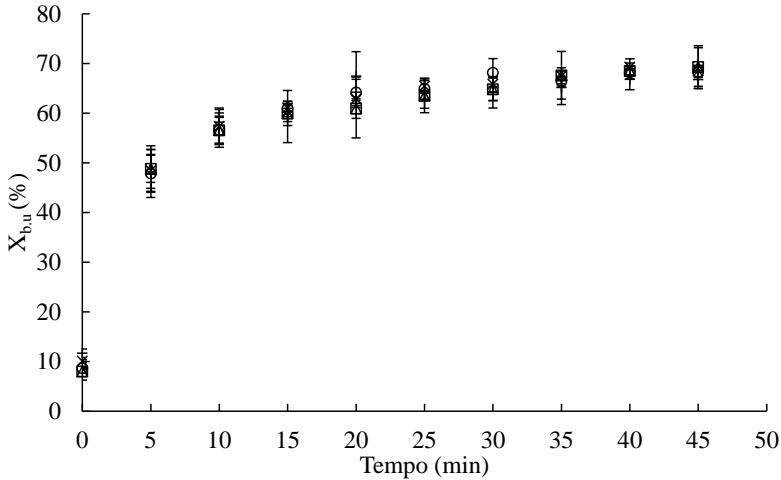
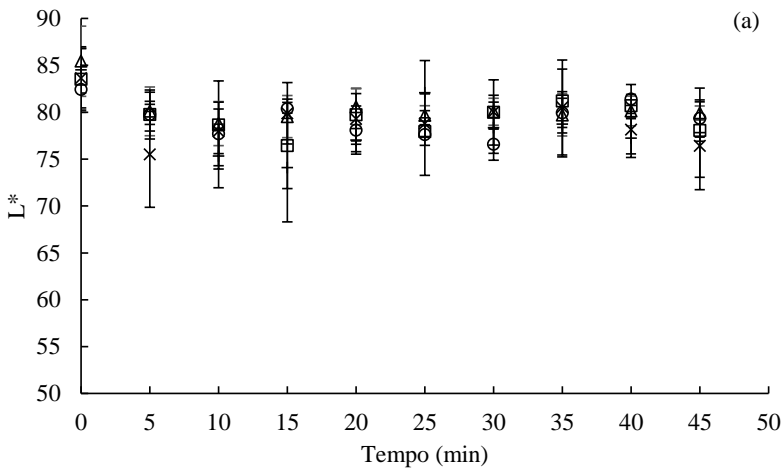


Figura B -3 – Dados experimentais médios de cor a) L^* , b) a^* , c) b^* obtidos durante o cozimento de feijão fradinho nos tratamentos (\square) 4,2 kPa, (Δ) 50 °C, (\times) 55 °C, (\circ) 60 °C, (+) Controle



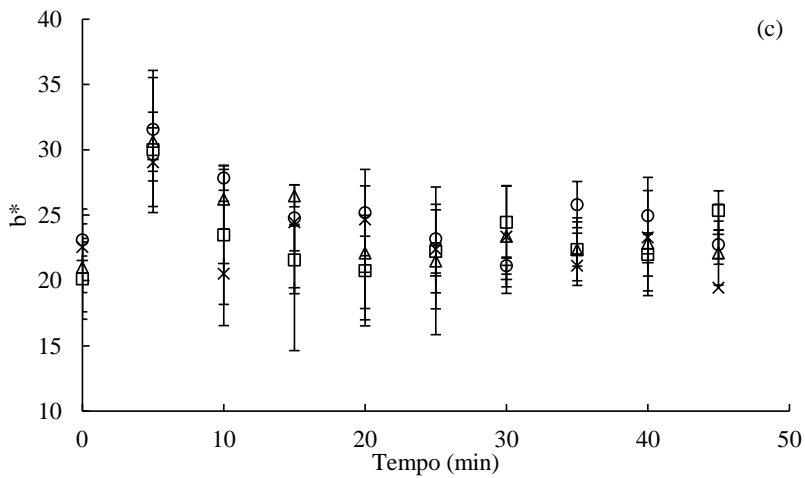
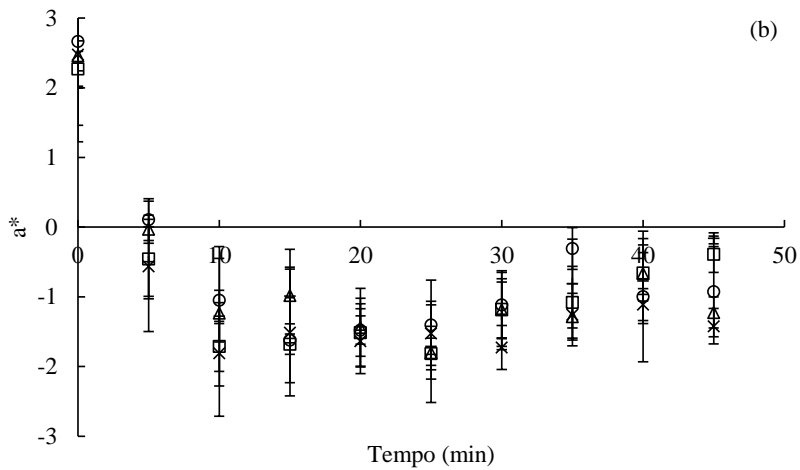


Tabela B-1 - Variação de cor durante o cozimento de grãos de cada tratamento.

