

ALINE ALMEIDA DA PAIXÃO

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUALIDADE DO FEIJÃO TRATADO
COM CERA DE CARNAÚBA DURANTE O ARMAZENAMENTO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de
Viçosa, como parte das
exigências do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011

ALINE ALMEIDA DA PAIXÃO

**PROPRIEDADES FÍSICAS E QUALIDADE DO FEIJÃO TRATADO
COM CERA DE CARNAÚBA DURANTE O ARMAZENAMENTO**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de
Viçosa, como parte das
exigências do Programa de
Pós-Graduação em Engenharia
Agrícola, para obtenção do
título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 18 de Julho de 2011.

Prof. Evandro de Castro Melo

Pesq. Rogério Faria Vieira

Prof. Paulo Cesar Corrêa

(Orientador)

A minha mãe Marly Pinto da Paixão, a minha família, ao meu marido Lucas Daniel Gonçalves Guilherme e sua minha família pelo exemplo de vida, amor, carinho, confiança, bondade, incentivo e dedicação irrestritos

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus por permitir que meus sonhos se tornem realidade.

À Universidade Federal de Viçosa, em especial ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de formação acadêmica.

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

À minha mãe, Marly e a minha família pelo amor, compreensão, amizade e incentivo que foram mais que fundamentais para que tudo isso se tornasse realidade.

Ao meu marido Lucas, meu grande amor e a sua família por estar sempre ao meu lado, pelo carinho, companheirismo e compreensão e por acreditar nas minhas conquistas.

Ao professor Paulo Cessar Côrrea pela orientação, confiança e ensinamentos que muito contribuíram para a minha formação.

Ao professor Paulo Roberto Cecon e ao pesquisador Sérgio Maurício Lopes Donzeles pelos ensinamentos, amizade e pela disponibilização em me atender.

Ao professor Evandro de Castro Melo e ao pesquisador Rogério Faria Vieira pela participação na banca de defesa de dissertação e pelas sugestões para esta dissertação.

À equipe do meu laboratório, em especial ao Rafael, a Mayra, a Fernanda, o Gabriel, o Maycon, o Davi, a Sílvia e o Guilherme obrigado por toda a ajuda e principalmente pela amizade de vocês.

Aos amigos e companheiros da graduação, em especial ao Tales, a Marta, a Roseli, a Camila Folli, a Simone e a Janaína pela amizade e presença em minha vida, mesmo aqueles que estavam longe

A todos os funcionários do DEA que de alguma forma contribuíram para que essa longa jornada se encerrasse com sucesso em especial, a Edna, Graça e ao Délio.

BIOGRAFIA

Aline Almeida da Paixão, filha de Marly Pinto da Paixão, nasceu na cidade de Ponte Nova, estado de Minas Gerais, no dia 04 de agosto de 1985.

Em julho de 2009, graduou-se em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Neste mesmo ano no mês de agosto ingressou-se no programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa, submeteu-se à defesa de dissertação, requisito este indispensável para a obtenção do título de Magister Scientiae, em julho de 2011.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	xiii
ABSTRACT.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	6
2.1 Geral.....	6
2.2 Específicos.....	6
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 A cultura do feijoeiro.....	7
3.2 Armazenamento e manutenção da qualidade dos grãos de feijão.....	9
4. MATERIAIS E MÉTODOS	12
4.1 Matéria-prima	12
4.2. Determinação das propriedades físicas	13
4.2.1. Massa específica real ou unitária.....	13
4.2.2. Massa específica aparente.....	13
4.2.3. Porosidade.....	13
4.2.4. Forma dos grãos.....	13
4.2.5. Massa de 1000 grãos.....	15
4.3. Armazenagem dos grãos de feijão tratados com solução de cera de carnaúba	15
4.3.1. Tratamento com a emulsão de cera de carnaúba	16
4.3.2. Monitoramento das condições do ambiente de armazenagem ...	17
4.3.3. Análise sensorial	17

4.3.4. Determinação dos índices de cor	19
4.3.5. Tempo de cocção	20
4.3.6. Capacidade de absorção de água	21
4.3.7. Modelagem do processo de embebição	22
4.3.8. Propriedades mecânicas	24
4.4. Armazenamento do produto com infestação de insetos	27
4.5. Delineamento experimental	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1. Propriedades físicas	29
5.1.1. Massa específica real ou unitária e massa específica aparente ...	29
5.1.2. Porosidade.....	30
5.1.3. Esfericidade e Circularidade	31
5.1.4. Massa de 1000 grãos.....	32
5.2. Armazenagem dos grãos	32
5.2.1. Monitoramento das condições do ambiente de armazenagem ...	32
5.2.2. Análise sensorial	34
5.2.3. Determinação dos índices de cor	36
5.2.4. Tempo de cocção	39
5.2.5. Capacidade de absorção de água	42
5.2.6. Modelagem do processo de embebição	44
5.2.7. Propriedades mecânicas.....	50
5.3. Armazenamento dos grãos com infestação de insetos.....	57
6. CONCLUSÕES.....	59
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1 - Modelo da escala hedônica de nove pontos utilizada na análise sensorial dos grãos de feijão ao final do período de armazenamento.....18
- Tabela 2 - Modelos estatísticos ajustados para o croma (C^*), o ângulo hue (h^*), a diferença de cor (ΔE) e o índice de escurecimento (BI) em função do tempo de armazenamento (t) em dias e da concentração de cera aplicada (TC), com seus respectivos coeficientes.....36
- Tabela 3 - Regressão ajustada aos valores experimentais da capacidade de absorção de água (A_g) e o coeficiente de determinação (R^2) e seus respectivos níveis de significância.....44
- Tabela 4 - Erro médio estimado (SE), erro médio relativo (P), coeficiente de determinação (R^2) e coeficientes (C_1 e C_2) do modelo de Peleg obtidos pelo ajuste aos dados experimentais da embebição dos grãos de feijão, tratados com emulsão de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e sem tratamento (testemunha) em diferentes temperaturas.....46
- Tabela 5 - Erro médio estimado (SE), erro médio relativo (P), coeficiente de determinação (R^2) e coeficientes (α e k) do modelo de Mitscherlich obtidos pelo ajuste aos dados experimentais da embebição dos grãos de feijão, tratados com emulsão de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e sem tratamento (testemunha) em diferentes temperaturas.....49
- Tabela 6 - Modelos estimados para a firmeza dos grãos de feijão, tratados e não tratados, *in natura* (a), embebidos à temperatura de 40 °C (b), à temperatura de 50 °C (c) e em grãos ao longo do processo de cocção (d) em função do tempo de armazenamento (t) em dias e do tempo de cocção (t_{coz}) em min, com seus respectivos coeficientes de determinação.....52
- Tabela 7 - Modelos estimados para o módulo proporcional de deformidade dos grãos de feijão, tratados e não tratados, *in natura* (a), embebidos à temperatura de 40 °C (b), à temperatura de 50 °C (c) e em grãos ao longo do processo de cocção (d) em função do tempo

de armazenamento (t) em dias e do tempo de cocção (t_{coz}) em min, com seus respectivos coeficientes de determinação.....55

Tabela 8 - Modelos estimados para o módulo de energia dos grãos de feijão, tratados e não tratados, *in natura* (a), embebidos à temperatura de 40 °C (b), à temperatura de 50 °C (c) e em grãos ao longo do processo de cocção (d) em função do tempo de armazenamento (t) em dias e do tempo de cocção (t_{coz}) em min, com seus respectivos coeficientes de determinação.....57

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Desenvolvimento da cultura do feijoeiro (<i>Phaseolus vulgaris</i>) das safras de 2000/2001 a 2008/2009 no Brasil. Fonte: IBGE (2009).....	8
Figura 2 - Desenho esquemático do grão de feijão, considerado como um esferóide oblato e suas dimensões características.....	14
Figura 3 - Representação esquemática dos grãos de feijão nas três posições de projeção: maior eixo (A), eixo médio (B) e o menor eixo (C).....	15
Figura 4 – Aplicação da solução de cera de carnaúba nos grãos de feijão da cultivar BRSMG majestoso.....	16
Figura 5 – Secagem dos grãos em terreiro suspenso após aplicação da emulsão de cera de carnaúba.....	17
Figura 6 - Sólido de cores do sistema CIE L*a*b* e descrição do ângulo hue (h^*) e do índice de saturação croma (C^*).....	19
Figura 7 – Aparelho tipo Mattson com detalhe da disposição dos grãos (a);(b) e (c); Aparelho no recipiente metálico durante a realização do teste (d).....	21
Figura 8 – Teste de compressão realizado nos grãos de feijão, (a) texturômetro, (b) aferição das dimensões característica, (c) e (d) teste em andamento.....	24
Figura 9 – Acondicionamento dos potes infestados com o inseto-praga <i>Acanthocelides obtectus</i>	27
Figura 10 - Valores observados e estimados da massa específica unitária (ρ_u) e aparente (ρ_{ap}) nos diferentes teores de água.....	29
Figura 11 – Porosidade dos grãos de feijão em função do teor de água.....	30
Figura 12 – Valores da esfericidade e da circularidade dos grãos de feijão em função do teor de água.....	31
Figura 13 – Variação da massa de 1000 grãos do feijão tipo carioca em função do teor de água (U^*).....	32
Figura 14 – Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar durante a armazenagem dos grãos de feijão em ambiente não controlado.....	33

Figura 15 – Teor de água médio dos grãos durante o período de armazenagem.	34
Figura 16 - Valores da análise sensorial dos grãos submetidos ao tratamento 1 e 2 (grãos de feijão revestidos com a solução de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 %, respectivamente) e a testemunha (grãos sem revestimento de cera) armazenados por 8 meses em ambiente não controlado.	35
Figura 17 - Cromo (a), ângulo hue (b), diferença de cor (c) e o índice de escurecimento (d) dos grãos de feijão em função da concentração de cera aplicada e/ou tempo de armazenamento.	37
Figura 18 – Tempo de cocção dos grãos de feijão (Tc) tratados com emulsão de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e sem tratamento (testemunha) em função do tempo de armazenamento (t).	40
Figura 19 – Porcentagem de absorção de água dos grãos tratados com emulsão de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamento 1 e 2, respectivamente) e não-tratados (testemunha) em função do tempo de armazenamento.	42
Figura 20 – Valores médios da capacidade de absorção de água (%) dos grãos de feijão tratados com emulsão de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamento 1 e 2, respectivamente) e não-tratados (testemunha) em função da temperatura da água de embebição.	43
Figura 21 – Teor de água ao longo do tempo de embebição em diferentes temperaturas para os tratamentos 1 e 2 (grãos de feijão tratados com emulsão de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 %, respectivamente) e para a testemunha (grãos de feijão sem tratamento com cera)	45
Figura 22 – Variação da taxa constante de Peleg (C1) em função da temperatura para os grãos de feijão tratados com emulsão de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e não tratados (testemunha).	47
Figura 23 – Variação da capacidade constante de Peleg (C2) em função da temperatura para os grãos de feijão tratados com emulsão de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e não tratados (testemunha).	47
Figura 24 – Variação da constante α em função da temperatura para os grãos de feijão tratados com emulsão de cera de carnaúba na	

concentração de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e não tratados (testemunha).	50
Figura 25 – Variação da taxa de variação do teor de água no tempo (k) em função da temperatura para os grãos de feijão tratados com emulsão de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e não tratados (testemunha).	50
Figura 26 - Valores médios observados e estimados da firmeza dos grãos de feijão, tratados com emulsão de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e não tratados (testemunha).	51
Figura 27 - Valores médios observados e estimados do módulo proporcional de deformidade dos grãos de feijão, não tratados (testemunha) e tratados com solução de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) ao longo do armazenamento.	54
Figura 28 - Valores médios observados e estimados da energia necessária na compressão dos grãos de feijão, não tratados (testemunha) e tratados com solução de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente).	56
Figura 29 - Grau de infestação dos grãos de feijão, não tratados (testemunha) e tratados com solução de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) ao dos longo do tempo de armazenamento.	58

RESUMO

PAIXÃO, Aline Almeida da, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2011. **Propriedades físicas e qualidade do feijão tratado com cera de carnaúba durante o armazenamento.** Orientador: Paulo Cesar Corrêa. Co-orientadores: Paulo Roberto Cecon e Sérgio Maurício Lopes Donzeles.

A qualidade dos grãos de feijão pode ser determinada pela aceitabilidade ao consumo, sendo afetada por características como coloração do tegumento, capacidade de hidratação e tempo de cozimento dos mesmos. Essas características podem ser alteradas durante o armazenamento, seja pelas condições inadequadas ou mesmo pela presença de insetos-pragas. Dentre as espécies de insetos que infestam os grãos de feijão durante o armazenamento, destaca-se a *Acanthoscelides obtectus* (Say), que é capaz de abrir galerias nos grãos. Devido ao fato do processo de fumigação potencialmente deixar resíduos nos grãos e a preocupação do consumidor com a segurança alimentar, a busca de soluções alternativas para o controle de insetos-pragas é necessária. A cera a base de carnaúba pode ser uma alternativa viável. Ela é obtida da palmeira brasileira (*Copernicia cerifera*), e não é tóxica. Objetivou-se com este trabalho avaliar a utilização da cera à base de carnaúba na proteção contra os insetos-praga e na conservação da qualidade dos grãos de feijão. Utilizaram-se grãos de feijão do grupo carioca, tratados com emulsão de cera de carnaúba Tropicalwax 2050. Como forma de caracterização da cultivar em estudo, em uma primeira etapa do trabalho foram determinadas as propriedades físicas dos grãos de feijão *in natura* e recém-colhidos, em diferentes teores de água. Em uma segunda etapa avaliou-se a utilização da cera na conservação dos grãos. Para tal, aplicou-se a emulsão de cera nas concentrações 0, 50 e 100 %, tratamentos 0, 1 e 2, respectivamente. Em um delineamento inteiramente casualizado foram realizados durante oito meses consecutivos, os testes de análise sensorial, avaliado por 40 julgadores; o teste de determinação dos índices de cor utilizando um colorímetro

tristímulo; o teste do tempo de cocção utilizando o aparelho tipo Mattson; a capacidade de absorção e a avaliação das propriedades mecânicas dos grãos in natura, embebidos nas temperaturas de 40 e 50 °C e durante o processo de cocção. Em uma terceira etapa verificou-se a eficácia do uso da cera contra a infestação de insetos-praga. Foram colocados 15 insetos adultos da espécie *Acanthoscelides obtectus* (Say) em potes com 1 kg de grãos, Durante o armazenamento, o desenvolvimento dos insetos foi avaliado aos 45, 90, 135 e 225 dias. À exceção da porosidade, todas as propriedades físicas apresentaram uma relação linear com o teor de água, não havendo diferença significativa ($p < 0,01$) entre os tratamentos com cera de carnaúba e a amostra testemunha. Foi constatada, em todos os tratamentos, uma boa aceitação do produto pelo teste de análise sensorial. Os escores médios apresentaram-se entre os termos hedônicos gostei ligeiramente e gostei moderadamente. Com base nos testes realizados para verificação da manutenção da qualidade do feijão não foram observadas interações significativas entre os tratamentos e o tempo de armazenamento. A cera não foi eficiente no controle da infestação dos insetos-praga, concluiu-se também que o uso da solução de cera de carnaúba como revestimento dos grãos de feijão não alterou as características sensoriais e não foi eficiente na proteção dos grãos de feijão contra o desenvolvimento do inseto praga *Acanthoscelides obtectus*.

ABSTRACT

PAIXÃO, Aline Almeida da, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July of 2011. **Physical properties and quality of bean treated with carnauba wax during storage** Fugleman: Paulo Cesar Corrêa. Co-advisors: Paulo Roberto Cecon and Sérgio Maurício Lopes Donzeles.

The quality of beans can be determined by the consumption acceptability, being affected by characteristics such as color of seed coat, hydration capacity and cooking time. These characteristics can be altered during the storage in inappropriate conditions or due to the presence of insect pests. Among the species of insects that infest beans during storage, the *Acanthoscelides obtectus* (Say) stands out, which is able to open galleries in the grains. Because of the fact that the fumigation process leaves residues on the grains, and because of the consumer concern about what he eats, the search for alternative solutions to insect pests control is necessary. Carnauba-based waxes may be a viable alternative, obtained from a Brazilian palm tree (*Copernicia cerifera*) and it is non-toxic. The objective of this study was to evaluate the use of carnauba-based wax on the protection and quality conservation of beans. Beans from the “carioca” group were used, and the TROPICAL WAX 2050 carnauba wax emulsion. In order to characterize the variety under study, in a first stage, physical properties of fresh and newly harvested beans were determined at different moisture contents. In a second stage, the use of wax on grain quality conservation was evaluated. For this, wax emulsion was applied on the beans in concentrations of 0, 50 and 100%, treatments 0, 1 and 2, respectively. In a completely randomized lineation, were performed during eight consecutive months: tests of sensorial analysis, evaluated by 40 judges; tests for determining color levels using a tristimulus colorimeter; tests for determining the cooking time using the Mattson device type; the absorption capacity and mechanical properties evaluation of fresh beans, soaked at temperatures of the 40 and 50 °C and during the cooking process. In a third stage, the effectiveness of wax use against infestation of insect pests was verified by performing the test of infestation percentage: 15

adult insects of *Acanthoscelides obtectus* (Say) were put in pots with 1 kg of grains and evaluated after 45, 90, 135 and 225 days of insect contact with the grains. Except for the porosity, all physical properties showed a linear relationship. There was no significant difference ($p>0,01$) between treatments with wax and the witness sample, and a good product acceptance was reached in all treatments. The mean scores were between the hedonic terms “liked slightly” and “liked moderately”. Based on tests conducted to verify the maintenance of beans quality, there were no significant interactions between treatments and storage time. It was observed that the wax was not effective in infestation control, was concluded that using the carnauba wax solution as a coating on the beans did not cause changes in sensory characteristics and was not effective in protecting beans against insect pests (*Acanthoscelides*) development.

1. INTRODUÇÃO

As fabáceas são fonte de energia e nutrientes na dieta humana e dentre as espécies que pertencem a este grupo, o feijão do gênero *Phaseolus* é o que apresenta maior importância econômica (RON et al., 1999). Além de ser uma cultura de grande expressão sócio-econômica no Brasil, é a principal fonte de proteína na alimentação dos brasileiros seguido, em importância, pela carne bovina e pelo arroz. Esses três alimentos básicos contribuem com 70 % da ingestão protéica (MACHADO, et al., 2008). A importância alimentar do feijão deve-se, especialmente, ao menor custo de sua proteína em relação aos produtos de origem animal (MESQUITA et al., 2007).

O Brasil é o maior produtor mundial deste grão (FAO, 2008). Com uma produção, considerando as três safras do produto por ano, de 3.322.500 toneladas na safra 2009/2010, plantados em mais de 3,6 milhões de hectares, tendo destaque a região centro-sul do país que deteve 76,5 % de participação na produção nacional (CONAB, 2011). Em virtude da grande produção, surge o problema de armazenar os grãos de modo a balancear a oferta e a procura, no intuito de estabilizar os preços, reduzindo as perdas qualitativas.

Como parte considerável desta produção é perdida entre o campo e o consumidor final, é necessário submetê-la a procedimentos pós-colheita que reduzam o nível de impurezas e matérias estranhas e forneça ao produto um teor de água adequado. Dentre, estes procedimentos podemos destacar a secagem e o armazenamento.

A secagem dos produtos agrícolas é o processo mais utilizado para assegurar sua qualidade e sua estabilidade, considerando que a diminuição da quantidade de água do material reduz a atividade biológica e as mudanças químicas e físicas que ocorrem durante o armazenamento (CORRÊA et al., 2007).

Quando o produto destina-se ao consumo, atenção especial deve ser dada ao sistema de armazenagem, pois durante o armazenamento o produto deteriora-se de forma gradativa e irreversível, numa velocidade dependente dos seus

próprios componentes químicos, do ambiente e da condição física dos grãos no início do armazenamento (SARTORI, 1996).

É fato comprovado que a qualidade dos grãos não pode ser melhorada durante o armazenamento, podendo apenas ser preservada quando as condições de conservação forem favoráveis. Dos fatores ambientais, os mais importantes na manutenção da qualidade dos grãos são a temperatura e a umidade relativa do ar, principalmente esta última (POPINIGIS, 1977).

A qualidade dos grãos de feijão pode ser determinada pela aceitabilidade ao consumo, sendo afetada e estando correlacionada com determinadas características como a coloração do tegumento, a hidratação e o tempo de cozimento dos grãos (GUEVARA, 1990). Essas características podem ser alteradas durante o armazenamento, seja pela em condições inadequadas ou mesmo pela presença de inseto-praga (BASSINELLO, 2007; RESENDE et al., 2008a).

De acordo com Garcia et al. (1998), citado por Granito et al. (2007), um dano importante que diminui a aceitabilidade dos grãos pelos consumidores é conhecido como *hard-to-cook* (HTC), defeito este, que ocasiona o aumento do tempo de cozimento dos grãos e está relacionado, principalmente, com o tempo prolongado de armazenagem em alta temperatura e umidade relativa. Dentre as alterações provocadas por este dano verifica-se o aumento do tempo de cozimento para obtenção do amaciamento dos cotilédones, acarretando na diminuição do valor nutritivo pela perda de vitaminas, observando-se ainda a deterioração da textura e do sabor (REYES-MORENO e PAREDES-LÓPES (1993), citado por MACHADO et al., 2008).

A presença de insetos-praga também diminui a aceitabilidade do produto, por alimentar do endosperma e do embrião dos grãos e seu metabolismo elevar a temperatura e a umidade intergranular, criando um ambiente ideal para o desenvolvimento fúngico.

Dentre as espécies de insetos que infestam os grãos de feijão durante o armazenamento, destaca-se a *Acanthoscelides obtectus* (Say), que é uma praga encontrada em regiões tropicais e temperadas e capaz de abrir galerias nos grãos,

podendo provocar a destruição completa dos mesmos. De acordo com Pemonge et al. (1997), este inseto-praga pode gerar perdas de até 30 % em grãos de feijão armazenados.

Para o controle destes insetos-praga tem-se utilizado, há muitos anos, em larga escala e com grande eficácia, os inseticidas residuais e a fumigação (LORINI et al. 2002). Os inseticidas residuais mais utilizados são o fenitrothion ($C_9H_{12}NO_5PS$), a deltametrina ($C_{22}H_{19}Br_2NO_3$) e a malationa ($C_{10}H_{19}O_6PS_2$) e os dois produtos mais comuns para a fumigação são a fosfina (PH_3) e o brometo de metila (CH_3Br). Entretanto, considerando a necessidade de estabelecer procedimentos para o uso seguro do brometo de metila em áreas de portos, aeroportos e fronteiras, proibiu-se o seu uso em expurgos de cereais e grãos armazenados e no tratamento pós-colheita de culturas como abacate, abacaxi, amêndoas, ameixa, avelã, castanha, castanha-de-cajú, castanha-do-pará, café, copra, citrus, damasco, maçã, mamão, manga, marmelo, melancia, melão, morango, nectarina, nozes, pêra, pêssego e uva (BRASIL, 2002).

Dentre as ações para o desenvolvimento racional de técnicas de controle dos insetos-praga durante o armazenamento de grãos tem-se o controle físico aliado ao uso mais restrito de produtos químicos. Pesquisas com soluções alternativas para o controle desta praga tem sido necessárias devido ao elevado custo dos produtos químicos, aos resíduos que eles geram na massa de grãos, aos riscos que a operação de fumigação gera aos operadores quando mal realizadas e à preocupação cada vez maior do consumidor com o que ele ingere e fornece para sua família e para os animais domésticos.

Pesquisas recentes apontam como soluções alternativas a utilização de pós-inertes e de óleos essenciais. Os pós-inertes apresentam grande potencial para uso em feijão com destino a mercados exigentes que não aceitam aplicação de inseticidas residuais, por exemplo, grãos e sementes orgânicos (LORINI et al. 2002). Os óleos essenciais podem ser definidos como compostos metabólicos secundários sintetizados pelas plantas que contêm componentes capazes de controlar a infestação de insetos-praga (BAKKALI et al., 2007).

De modo semelhante, podendo consistir-se em uma alternativa viável e não poluente, o uso de ceras, dentre as quais a cera a base de carnaúba, vem sendo testada em frutas e hortaliças como forma de conservação das características destes produtos no período de armazenamento (JACOMINO et al., 2003).

A carnaúba (*Copernicia prunifera*), uma palmeira brasileira da família *Arecaceae* endêmica no semi-árido do Nordeste, oferece uma infinidade de benefícios aos homens, pois seu cultivo emprega milhares de pessoas, suas raízes têm uso medicinal, sendo um eficiente diurético; os frutos são ricos em nutrientes, sendo utilizados na ração animal; o tronco fornece madeira de qualidade para construções e as palhas servem para a produção artesanal, adubação do solo e extração da cera (SEAGRI, 2010).

Para produção da cera de carnaúba, a coleta das folhas verdes das carnaubeiras é feita entre julho e fevereiro, época da safra. Após o recolhimento, as folhas são postas para secar ao sol para posterior batimento e desprendimento do pó. A seguir, o pó é cozido e coado em grandes prensas de madeira. Esse processo primitivo é, na maioria das vezes, substituído pela utilização de extratores que fazem uso de solventes. O resfriamento, então, é feito em tanques rasos, depois do qual o produto é quebrado em pedras de cor amarelo esverdeada ou marrom escura. Tem-se assim a cera bruta, pronta para o beneficiamento (CARNAÚBA DO BRASIL, 2011).

Algumas vantagens relativas ao uso de ceras em produtos agrícolas podem ser citadas. A cerosidade de um produto agrícola, principalmente das frutas, perdida durante os processos de pós-colheita tem sido reconstituída pelo uso de cera, aplicada por imersão ou pulverização, reduzindo a perda de água e conferindo aspecto atrativo após a secagem e polimento (WILLS et al., 2004 citado por CHIUMARELLI et al., 2006). Além disso a película de cera aplicada na superfície do produto vegetal apresenta diferentes taxas de permeabilidade ao O₂, CO₂ e vapor d'água em função das propriedades da matéria prima, de sua concentração e da espessura da película (AMARANTE et al., 2001), permitindo assim a conservação do produto por um maior período de tempo.

Em função do que foi exposto, estudou-se a utilização da cera à base de carnaúba na proteção e na conservação da qualidade como uma forma de diminuir as perdas pós-colheita em grãos de feijão, pelo controle da infestação dos insetos-praga, permitindo sua utilização nos setores responsáveis pelo armazenamento e comercialização do feijão. Sendo assim, os seguintes objetivos foram traçados para o presente trabalho.

2. OBJETIVOS

2.1 Geral

Avaliar a utilização da solução de cera de carnaúba como alternativa de conservação da qualidade dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) durante o armazenamento.

2.2 Específicos

- Caracterizar o produto estudado através da avaliação de suas propriedades físicas (massa específica real e aparente, porosidade e forma) em função do teor de água;
- Analisar o tempo de cocção dos grãos de feijão revestidos com solução de cera de carnaúba durante o armazenamento;
- Modelar o processo de embebição dos grãos de feijão revestidos com solução de cera de carnaúba;
- Monitorar as propriedades mecânicas (força máxima de ruptura) e a cor do tegumento dos grãos de feijão revestidos com solução de cera de carnaúba durante o armazenamento.
- Avaliar a eficiência da utilização da solução de cera de carnaúba no controle da infestação pelo inseto-praga *A. obtectus*.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A cultura do feijoeiro

Cultivado por produtores de pequeno e grande porte, em diversificados sistemas de produção e em todos os estados brasileiros, com ciclos variando de 65 a 100 dias dependendo da cultivar e das condições climáticas, o feijoeiro comum reveste-se de grande importância econômica e social.

Centenas de cultivares de feijoeiro comum são cultivadas no Brasil, sendo que, as variações observadas na preferência dos consumidores orientam o desenvolvimento de pesquisas tecnológicas e direcionam a produção e comercialização do produto. As regiões brasileiras são bem definidas quanto à preferência do grão consumido. O feijão preto é mais popular no Rio Grande do Sul, Santa Catarina, sul e leste do Paraná, Rio de Janeiro, sudeste de Minas Gerais e sul do Espírito Santo. No restante do país este tipo de grão tem pouco ou quase nenhuma aceitação. Os grãos de feijão do tipo carioca são aceitos em praticamente todo o Brasil, daí que 53 % da área cultivada é semeada com este tipo (EMBRAPA, 2003 a).

O Brasil é o maior produtor mundial de feijão, sendo o Paraná, seguido de Minas Gerais, os maiores produtores nacionais, com mais de 42 % da produção nacional. O país é também o maior consumidor mundial, com um consumo estimado em, aproximadamente, 16 kg por habitante/ano (CIF, 2010).

Considerando as três épocas de plantio 3,32 milhões de toneladas foram produzidos na safra de 2009/2010. A estimativa para 2010/2011 é de crescimento, haja vista que de acordo com levantamentos realizados pela CONAB, a produção neste ciclo deverá atingir 3,80 milhões de toneladas, volume superior ao obtido em 2009/2010 em 14,50 %. Esse aumento na produção pode ser impulsionado pelo aumento na produtividade de 4,7 % e na área cultivada que passará de 3,91 milhões de hectares, o que representa um crescimento de 8,4 % (CONAB, 2011). Com base na Figura 1 é possível verificar a evolução da cultura do feijoeiro no Brasil entre os anos de 2000/2009.

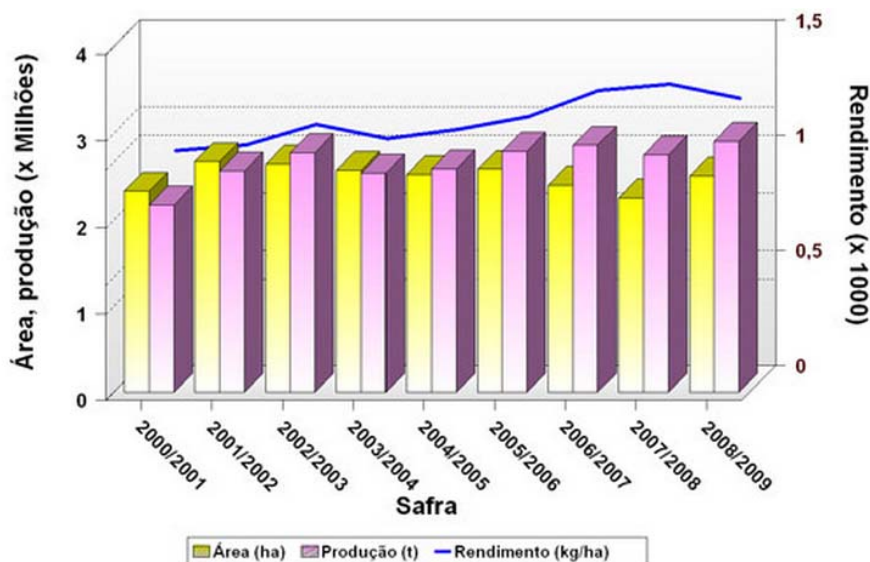


Figura 1 - Desenvolvimento da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*) das safras de 2000/2001 a 2008/2009 no Brasil. Fonte: IBGE (2009).

O beneficiamento do feijão também se constitui numa operação de grande importância, pois os métodos de colheita não proporcionam um produto final limpo e padronizado em condições de ser comercializado. É necessário que o produto colhido passe por um processo de limpeza para melhoramento do grau de pureza e manutenção das propriedades intrínsecas como, germinação e vigor. O beneficiamento é feito, geralmente, por dois equipamentos principais: a máquina de ar e peneira e a máquina densimétrica que possui mais recursos para separar impurezas de tamanho e densidade próximos ao do produto. Após o beneficiamento, o feijão armazenado, destinado ao plantio ou ao consumo, deve receber tratamentos especiais para evitar sua depreciação (EMBRAPA, 2003 b).

As etapas de pré-processamento e armazenamento do produto, quando conduzidas de forma adequada, garantem a manutenção da qualidade do produto final. O processo de secagem é bastante utilizado, pois a redução do teor de água assegura a qualidade e estabilidade dos grãos de feijão, e reduz as atividades biológicas e físico-químicas que ocorrem durante o armazenamento, mantendo a qualidade do produto por um período mais prolongado. Além disso, o processo de secagem, aliado à armazenagem sob condições adequadas, permite ao

produtor aumentar a oferta de feijão em épocas de escassez, quando os preços são mais estimulantes (RESENDE, 2008 b).

Dentre os problemas relacionados à cultura do feijoeiro, destacam-se os insetos-praga, que além de atacarem a cultura nos diversos estágios de desenvolvimento, também danificam os grãos armazenados. Inclui-se, dentre as pragas, o caruncho *Acanthoscelides obtectus* (Say), que ataca o feijão no campo e no armazenamento. Eles abrem galerias nos grãos, o que pode destruí-los e depreciá-los comercialmente (GALLO et al., 2002).

3.2 Armazenamento e manutenção da qualidade dos grãos de feijão

Na maioria dos casos, as perdas no armazenamento de grãos são causadas pelo ataque de insetos, fungos e roedores. Pode ocorrer ainda perdas das qualidades intrínsecas como a aparência e o sabor, no caso do feijão para consumo e quando se trata das sementes, a sua capacidade de germinar e de produzir uma planta vigorosa e sadia (BRAGANTINI, 2005).

Para o feijão destinado ao consumo, Bassinello (2005) identificou como os principais parâmetros relacionados à qualidade, a absorção de água, o tempo de cozimento, a quantidade de sólidos solúveis no caldo, a cor do tegumento e do caldo e o teor de fibras, proteínas, minerais e vitaminas. O feijão armazenado tende a cozinhar mais lentamente, o que resulta em maior consumo de tempo e energia, pois o tegumento do feijão perde a sua permeabilidade durante o armazenamento, o que contribui para o aumento do tempo de cocção.

O feijão armazenado em silos ou sacos apresenta-se como uma massa porosa, constituída por grãos e espaços intergranulares. O oxigênio existente nestes espaços é utilizado no processo respiratório dos grãos, acompanhado do desgaste das substâncias nutritivas. A velocidade de deterioração e o processo respiratório no armazenamento estão relacionados com a elevação da temperatura e com o teor de água dos grãos. Quando o teor de água dos grãos armazenados encontra-se entre 11 e 13 %, o processo respiratório se mantém baixo, prolongando a manutenção da qualidade do produto armazenado. No entanto, ao

aumentar o teor de água, o processo respiratório acelera, ocorrendo a deterioração dos grãos (BRAGANTINI, 2005).

Pensando nas perdas ocorridas no armazenamento dos grãos e na possível interação com outros fatores, Ribeiro et al. (2007) estudaram o efeito do período de semeadura na qualidade de cozimento do feijão armazenado e verificou a existência de uma interação entre o genótipo e o ambiente. Observaram, após o período de seis meses de armazenamento, um menor tempo de cocção para os grãos armazenados em uma temperatura média de 0,5 °C e umidade relativa de 80 %, ao passo que, para este mesmo tempo de armazenamento não houve diferença significativa na absorção de água.

O monitoramento da qualidade dos grãos durante o armazenamento pode ser feito através do emprego de testes como teor de água, grau de infestação, massa específica aparente, condutividade elétrica e percentual de germinação (BROOKER et al., 1992). O grau de infestação é um parâmetro importante de avaliação da qualidade, haja vista que os insetos são responsáveis por consideráveis perdas no setor de armazenamento dos produtos agrícolas em todo o mundo (PEREIRA et al., 2008 a).

Em decorrência dos resíduos encontrados nos grãos com o emprego de produtos químicos convencionais, que tradicionalmente é a técnica mais usada para controle de pragas, tem-se buscado métodos alternativos que sejam mais viáveis, que não deixem resíduos nos grãos, não poluam o ambiente e que sejam menos onerosas para controle do caruncho.

O uso de algumas plantas com característica inseticida que podem ser empregadas na forma de pós, extratos e óleos pode ser incluída entre as novas soluções. Os óleos essenciais podem ser definidos como compostos metabólicos secundários sintetizados pelas plantas que contêm componentes capazes de controlar a infestação de insetos-praga (BAKKALI et al., 2007). Eles podem ter uma atividade fumigante, agir como inseticidas de contato e como repelentes, além de afetarem parâmetros biológicos como a taxa de crescimento, a longevidade e a reprodução dos insetos-praga. Autores pesquisaram a eficiência dos óleos essenciais no controle dos insetos-praga (BRITO et al. 2006;

PEREIRA et al. 2008 b) e apontaram para a possibilidade de ser uma técnica viável.

O uso de pós inertes tem sido feita há muitos anos por pequenos agricultores. Segundo Lorini (2000) existem quatro tipos básicos de pós inertes: argilas; terra de diatomáceas; sílica aerogel e pós não derivados da sílica. Na literatura é possível encontrar estudos que tiveram por objetivo avaliar a eficácia destes produtos no controle do gorgulho-do-milho (RIBEIRO et al., 2008), além das possíveis alterações na biologia do *A. obtectus* ocasionadas pela aplicação de pós vegetais (BALDIN et al., 2009) e a avaliação do efeito dos pós de 18 espécies vegetais sobre o comportamento e sobrevivência desta praga (MAZZONETO e VENDRAMIM, 2003), dentre outras pesquisas.

As principais pragas que atacam as sementes de feijão no armazém são os carunchos *Zabrotes subfasciatus* e *Acanthoscelides obtectus*. Os adultos da espécie *A. obtectus* apresentam forma ovóide, com 2 a 4 mm de comprimento e coloração pardo-escura, com pontuações avermelhadas na parte vertical do abdômen e no pigídio, pernas e antenas. As larvas são de coloração branco-leitosa com 3 a 4 mm de comprimento e as pupas são da mesma cor, passando a marrom quando próximas à emergência dos adultos (GALLO et al., 1988). Os ovos são colocados sobre os grãos e em condições ótimas de temperatura, 30 °C, e de umidade relativa, 70 %, o desenvolvimento do inseto se completa em um período aproximado de 23 dias. Devido ao fato de as fêmeas ovipositarem em cima dos grãos, o uso da cera a base de carnaúba pode ser uma alternativa viável no seu controle, visto que a cera produz uma camada lustrosa que dificulta a fixação do ovo no grão.

Malgarin et al. (2007) verificaram que a modificação da atmosfera pelo uso de cera de carnaúba, diluída em 50 % de água, associada à refrigeração, permite armazenar pêssegos ‘Esmeralda’ com qualidade comercial durante 30 dias. Fakhouri e Grosso (2003) estudaram o efeito de ceras comestíveis sobre a vida útil de goiabas. Os tratamentos com ceras foram mais eficientes no controle do amadurecimento, proporcionaram melhor brilho, cor e aparência e preservaram as características físico-químicas.

4. MATERIAIS E METÓDOS

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas, pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR) e no Departamento de Tecnologia de Alimentos localizados no campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa – Minas Gerais.

4.1 *Matéria-prima*

Foram utilizados grãos de feijão da cultivar BRSMG Majestoso do grupo carioca. Eles foram colhidos manualmente no campo experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), na cidade de Oratórios/MG.

Os grãos foram previamente expurgados com fumigantes, no intuito de se evitar possíveis interferências de infestações ocorridas no campo. Como forma de caracterização da cultivar em estudo, em uma primeira etapa do trabalho foram determinadas as propriedades físicas dos grãos de feijão *in natura* e recém-colhidos, com diferentes teores de água.

Os grãos com teor de água de aproximadamente 0,263 b.s. (base seca), foi homogeneizado e seco em estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 40 °C. A alteração do teor de água do produto ao longo do processo de secagem foi acompanhada pelo método gravimétrico, com auxílio de uma balança analítica com resolução de 0,01 g (Modelo AS200. Marte Balanças e Aparelhos de Precisão Ltda, São Paulo, Brasil). Quando se obtiveram os teores de água em torno de 0,266; 0,235; 0,205; 0,176 e 0,149 (b.s.), foram determinadas as propriedades físicas.

O teor de água dos grãos nas amostras foi determinado pelo método da estufa, a 105 ± 3 °C, durante 24 h, em três repetições (BRASIL, 2009).

4.2. Determinação das propriedades físicas

4.2.1. Massa específica real ou unitária

Para determinação da massa específica real (ρ_u) das amostras foi utilizado o método de complementação de volume, em uma bureta de 50 mL graduada, com resolução de 0,01 mL utilizando-se 25 grãos. Relacionou-se a massa conhecida dos grãos e o volume conhecido de líquido com características de penetração mínima nos poros do grão, neste caso, um óleo vegetal de girassol.

4.2.2. Massa específica aparente

A massa específica aparente (ρ_{ap}) dos grãos de feijão, obtida em kg m^{-3} , foi determinada utilizando-se uma balança analítica (Modelo AS200. Marte Balanças e Aparelhos de Precisão Ltda, São Paulo, Brasil), com resolução de 0,01 g, e um recipiente com capacidade de 1 L, em cinco repetições.

4.2.3. Porosidade

A determinação da porosidade da massa de grãos foi feita de maneira indireta com base nos resultados da massa específica aparente e da massa específica unitária, de acordo com a Equação 1, descrita por Mohsenin (1986):

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_u} \right) \times 100 \quad (1)$$

em que:

ε : porosidade, %;

ρ_{ap} : massa específica aparente, kg m^{-3} ; e

ρ_u : massa específica unitária, kg m^{-3} .

4.2.4. Forma dos grãos

A forma dos grãos de feijão foi analisada pela esfericidade e pela circularidade. A esfericidade expressa a forma característica de um determinado sólido em relação a uma esfera, desta forma, o valor encontrado indica quanto

um determinado produto se aproxima de uma esfera. A circularidade expressa a forma característica de um determinado sólido em relação ao círculo.

As medições das dimensões características dos grãos obtidos a partir dos eixos ortogonais, representados na Figura 2, foram feitas em 15 grãos com um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm (Paquímetro Digital MIP/E-103, Mitutoyo, São Paulo, Brasil).

A esfericidade dos grãos de feijão, considerados como esferóide oblato, foi calculada de acordo com a Equação 2, descrita por Mohsenin (1986).

$$E = \left[\frac{(a b c)^{\frac{1}{3}}}{a} \right] \times 100 \quad (2)$$

Em que:

- E : esfericidade, %;
- a : eixo maior, mm;
- b : eixo médio, mm; e
- c : eixo menor, mm;

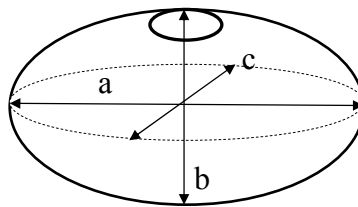


Figura 2 - Desenho esquemático do grão de feijão, considerado como um esferóide oblato e suas dimensões características.

A circularidade foi verificada em três posições de projeção: eixo maior, eixo médio e eixo menor, conforme esquema da Figura 3, por meio da Equação 3.

$$C_r = \left(\frac{d_i}{d_c} \right) \times 100 \quad (3)$$

Em que:

- C_r : circularidade, %;
- d_i : diâmetro do maior círculo inscrito, mm;

d_c : diâmetro do menor círculo circunscrito, mm.

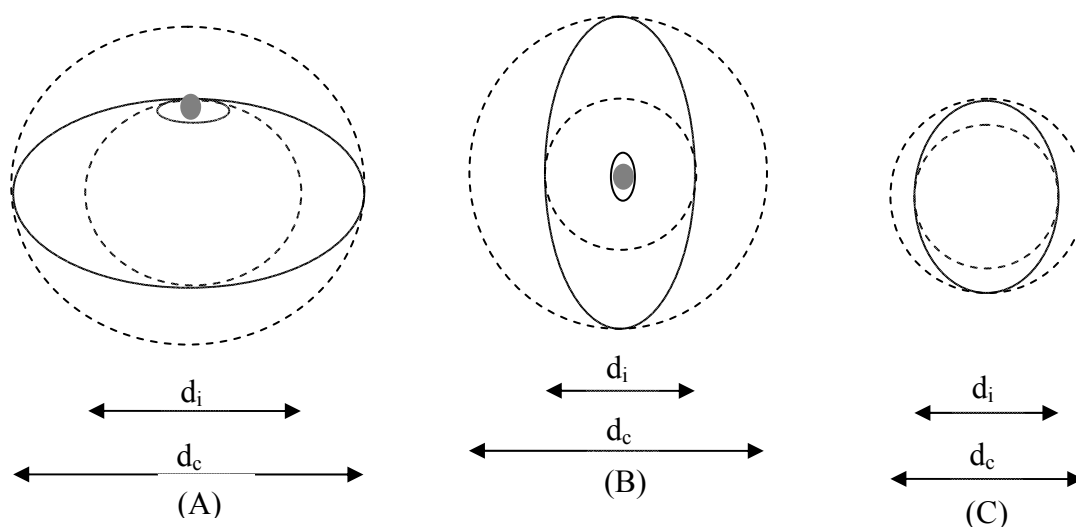


Figura 3- Representação esquemática dos grãos de feijão nas três posições de projeção: maior eixo (A), eixo médio (B) e o menor eixo (C).

4.2.5. Massa de 1000 grãos

Para determinação da massa de 1000 grãos utilizou-se uma balança analítica (Modelo AS200. Marte Balanças e Aparelhos de Precisão Ltda, São Paulo, Brasil) com precisão de 0,01 g, multiplicando-se por 10 a massa média das oito sub amostras de 100 grãos (BRASIL, 2009), sendo que os resultados foram expressos em quilograma (kg).

4.3. Armazenagem dos grãos de feijão tratados com solução de cera de carnaúba

Numa segunda etapa do trabalho, os grãos de feijão do grupo carioca, com teor inicial de água de 0,149 (b.s.), aproximadamente, foram tratados com a solução de cera de carnaúba. Para tal, os grãos foram divididos em três lotes de 25 kg, dos quais, um destinou-se a amostra testemunha, um a aplicação da cera diluída na proporção de 1/1 (solução de cera de carnaúba / água) e o outro lote

aplicado apenas a solução de cera de carnaúba, tratamentos 0, 1 e 2, respectivamente.

4.3.1. Tratamento com a emulsão de cera de carnaúba

A emulsão a base de cera de carnaúba utilizada foi da marca TROPICAL WAX 2050 que é uma emulsão não-iônica, líquida, diluída em água e extra refinada, cujas matérias-primas estão previstas pela Comunidade Econômica Européia e pelo FDA americano para aplicações em contato com alimentos, nos parágrafos 21 CFR 172.840 e 21 CFR 182.1978 (vLEX UNITED STATES, 2005).

A aplicação da solução da cera de carnaúba foi realizada por meio de pulverização, com pulverizador trombone de 5 L e bico de jato cônico, enquanto a massa de grãos era homogeneizada de forma a garantir que a aplicação da solução aconteceu-se em toda a superfície dos grãos (Figura 4).



Figura 4 – Aplicação da solução de cera de carnaúba nos grãos de feijão da cultivar BRSMG majestoso

Posteriormente os grãos foram espalhados em terreiros suspensos para secagem, até que atingissem teor de água de 0,162 (b.s.) (Figura 5).



Figura 5 – Secagem dos grãos em terreiro suspenso após aplicação da emulsão de cera de carnaúba.

Após a secagem, os grãos foram armazenados em sacos de algodão e a cada 30 dias, por oito meses consecutivos, foram retiradas amostras de 1 kg, para realização das análises.

4.3.2. Monitoramento das condições do ambiente de armazenagem

As condições do ambiente de armazenamento (temperatura e umidade relativa do ar) foram monitoradas ao longo do período de armazenamento por meio de um termômetro de mercúrio e de um higrômetro de fio de cabelo, com leituras diárias por volta de 9 h da manhã.

4.3.3. Análise sensorial

O teste sensorial foi realizado no Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) da UFV, em três repetições.

Trezentos e cinquenta gramas de grãos de cada um dos tratamentos foram colocadas em panelas devidamente identificadas contendo 1 L de água em ebulição. As panelas foram tampadas de maneira a deixar uma pequena passagem para a saída de vapores. Todos os queimadores do fogão a gás com seis bocas foram regulados com chama baixa de forma a proporcionarem intensidade de chamas uniformes.

Após o cozimento dos grãos, as panelas foram colocadas sobre uma mesa para esfriar. Em seguida, fez-se a uniformização da proporção grão/caldo. Para isso, utilizou-se uma placa de Petri com 1 cm de altura. Esta placa mantida na posição horizontal foi introduzida na panela e empurrada para baixo, fazendo o caldo subir. Quando este não atingia a altura da placa, adicionou-se mais água até que isso acontecesse.

Em seguida, separou-se o caldo dos grãos e pesaram-se os grãos. Com base no peso dos grãos, foi calculada a quantidade de sal e de óleo vegetal a ser adicionado, em seguida foram feitas as análises sensoriais. Utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado. As amostras foram servidas monadicamente em prato fundo preto codificado e avaliadas por 40 provadores treinados e selecionados, que utilizaram a escala hedônica de 9 pontos (Tabela 1) (ABNT, 1998).

Este procedimento realizou-se ao final do período de oito meses de armazenamento.

Tabela 1 – Modelo da escala hedônica de nove pontos utilizada na análise sensorial dos grãos de feijão ao final do período de armazenamento

Amostra:	Julgador:	Data:
Você está recebendo quatro amostras codificadas. Avalie globalmente cada uma segundo o grau gostar ou desgostar, utilizando a escala abaixo.		
(9) Gostei extremamente	_____	()
(8) Gostei moderadamente	_____	()
(7) Gostei regularmente	_____	()
(6) Gostei ligeiramente	_____	()
(5) Não gostei, nem desgostei	_____	()
(4) Desgostei ligeiramente	_____	()
(3) Desgostei regularmente	_____	()
(2) Desgostei moderadamente	_____	()
(1) Desgostei extremamente	_____	()

Comentários:

Fonte: ABNT, NBR 14141, 1998.

4.3.4. Determinação dos índices de cor

Para a avaliação da cor dos grãos durante o armazenamento foi utilizado um colorímetro tristímulo (MiniScan XE Plus 45/0-L, HunterLab, Reston, Estados Unidos) para leitura direta de reflectância das coordenadas L^* (luminosidade), a^* (tonalidades vermelha/verde) e b^* (tonalidades amarela/azul), empregando a escala Hunter-Lab (Figura 6) e utilizando o iluminante $10^\circ/D60$, munido do sistema CIE 1976, um sólido de cores definido por três coordenadas. No eixo principal visualiza-se o nível de luminosidade L^* em uma escala de 0 (totalmente preto) a 100 (totalmente branco), sendo que os valores intermediários compreendem uma escala de cinza.

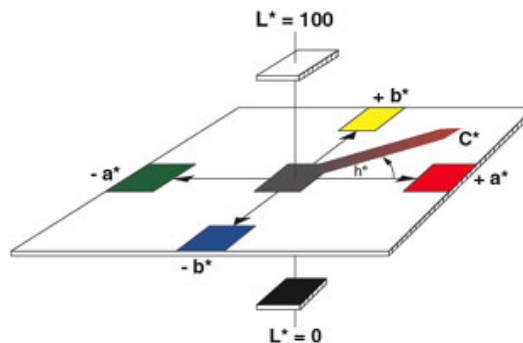


Figura 6 - Sólido de cores do sistema CIE $L^*a^*b^*$ e descrição do ângulo hue (h^*) e do índice de saturação cromática (C^*).

A partir dos valores de L^* , a^* e b^* , foram calculados os índices colorimétricos: croma (C^*), que define a intensidade e a pureza de uma cor (Equação 4) e o ângulo hue (h^*) (Equação 5), que define a tonalidade da cor: 0° (vermelho), 90° (amarelo), 180° (verde) e 270° (azul). O ΔE , que é a diferença total de cor levando-se em consideração as condições iniciais de armazenamento dos grãos (Equação 6).

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (4)$$

$$h^* = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (5)$$

$$\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (6)$$

Também foi determinado o índice de escurecimento (BI) dos grãos que, em diversos trabalhos com frutas, é realizado por meio da avaliação visual da extensão da área escurecida no produto e posterior classificação com auxílio de uma escala pré-definida (ZHENG e TIAN, 2006; D'AQUINO et al., 2010), ou por medição da absorvância utilizando um espectrofotômetro (ZHU et al., 2009; CERNÎȘEV, 2010). Para grãos não foi encontrado nenhum relato na literatura de algum modelo que descreva o comportamento do escurecimento durante o armazenamento. Desta forma, utilizou-se a Equação 7, como forma alternativa de prever tal comportamento. Esta equação é amplamente utilizada em experimentos na área de alimentos processados (PINELI et al., 2005; SARICOBAN e YILMAZ, 2010).

$$BI = [100(x - 0,31)]/0,172 \quad (7)$$

em que:

$$x = \frac{(a^* + 1,75 L^*)}{(5,645 L^* + a^* - 3,012 b^*)}$$

4.3.5. Tempo de cocção

Para determinação dos tempos de cocção, as amostras de todos os tratamentos foram previamente embebidas em água por 14 h antes do cozimento. O teste foi realizado utilizando o aparelho de Mattson (Figura 7a), utilizado por diversos pesquisadores para descrever este fenômeno (CARBONELL et al., 2003, COELHO et al., 2008; RESENDE et al., 2008 a; BERTOLDO et al., 2009). O aparelho é constituído por 25 hastes com 21,6 cm de comprimento e massa de 82,0 g cada uma. Na extremidade, a haste apresenta uma ponta afunilada com 0,2 cm de diâmetro e comprimento de 0,9 cm, que foi apoiada perpendicularmente sobre cada grão.

O aparelho foi colocado no interior de um recipiente metálico com 1 L de água em estado de ebulição, completando-se o volume de tempos em tempos, de tal forma que este fosse mantido constante (Figura 7 b). Os grãos foram considerados cozidos quando a haste os atravessou, sendo o tempo de cocção da

amostra registrado no momento em que a maioria (52 %) dos grãos estava cozida, ou seja, quando a 13ª haste penetrou o grão.

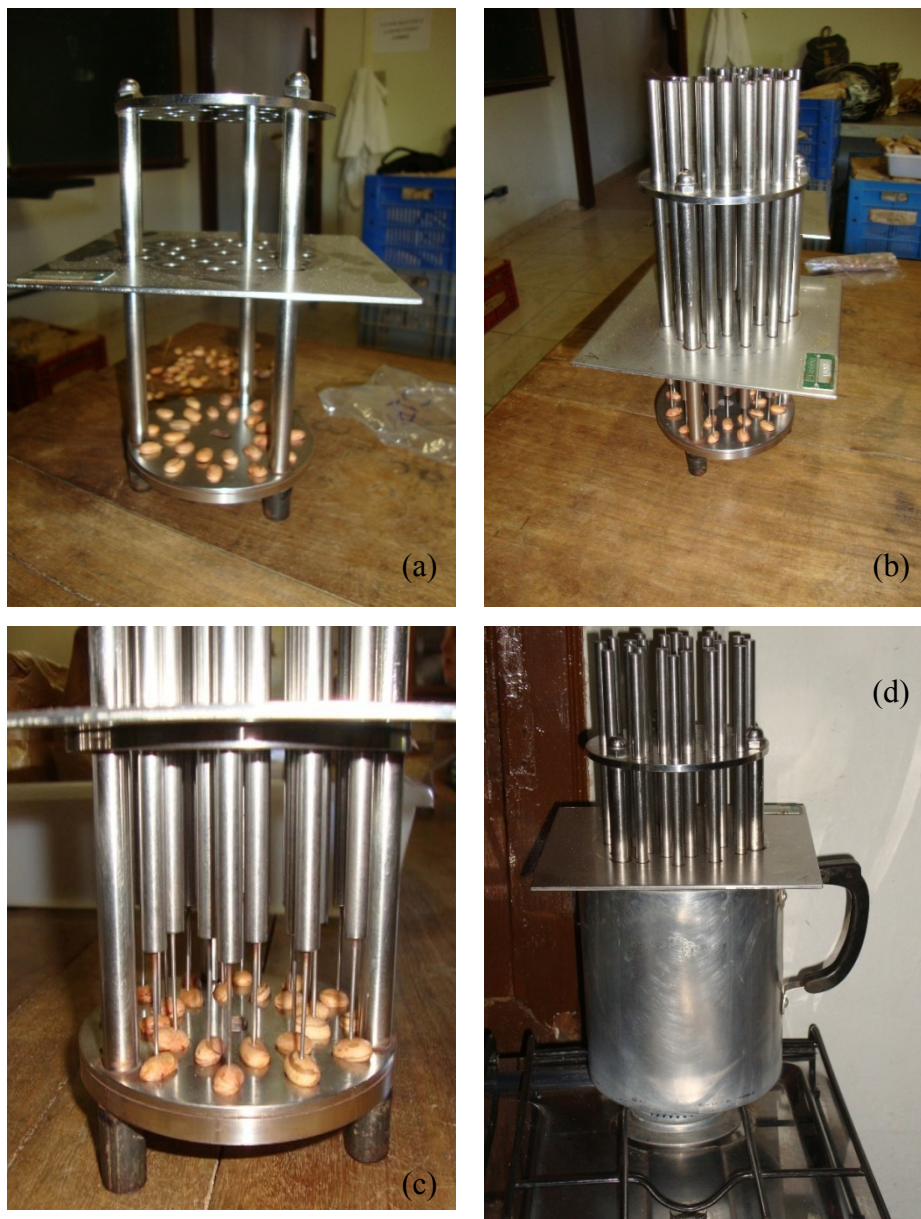


Figura 7 – Aparelho tipo Mattson com detalhe da disposição dos grãos (a);(b) e (c); Aparelho no recipiente metálico durante a realização do teste (d).

4.3.6. Capacidade de absorção de água

Vinte gramas de grãos de feijão de cada tratamento foram embebidos em 80 mL de água destilada, perfazendo a relação em massa de 1:4, convencionalmente utilizada no processo de embebição, como descrito por Rodrigues et al. (2005), durante 12 h nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C.

Após o período de embebição, as amostras foram colocadas sobre papel de filtro para escoamento da água superficial durante 2 min. A porcentagem de absorção de água foi determinada pela Equação 9, (COSTA et al. 2001):

$$A_g = \frac{(m_e - m_i)}{m_i} \times 100 \quad (9)$$

em que:

A_g : absorção de água, %;

m_e : massa de água depois da embebição, g; e

m_i : massa de água antes da embebição, g.

4.3.7. Modelagem do processo de embebição

Para a modelagem do processo de embebição dos grãos de feijão, embebeu-se aproximadamente 10 g de grãos em 40 mL de água destilada, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, durante 15 h. A massa foi determinada em uma balança digital com resolução de 0,01 g (Modelo AS200, Marte Balanças e Aparelhos de Precisão Ltda, São Paulo, Brasil), em intervalos de tempo de 1 h. Foi utilizado um conjunto de três amostras independentes em cada leitura.

Dois modelos foram utilizados na modelagem do processo de embebição. O modelo proposto por Peleg (1988) (Equação 10) que é frequentemente empregado para descrever processos de embebição de produtos alimentícios como milho (BOTELHO, 2009) e grão-de-bico (TURHAN et al., 2002).

$$U_t^* = U_0^* \pm \frac{t}{(C_1 + C_2 t)} \quad (10)$$

em que:

U_t^* : teor de água para um dado tempo, % b.s.;

U_0^* : teor de água do produto no tempo zero, % b.s.;

C_1 : taxa constante de Peleg, 100 h $\text{kg}_{\text{ms}} \text{kg}_a^{-1}$;

C_2 : capacidade constante de Peleg, 100 $\text{kg}_{\text{ms}} \text{kg}_a^{-1}$; e

t : tempo, h.

O sinal “±” apresentado na Equação 10 deve-se à empregabilidade do modelo tanto em processos de absorção (embebição, adsorção) (+) quanto nos de dessorção (-).

Além do modelo de Peleg, foi utilizado o modelo de Mitscherlich (Equação 11), descrito por Ratkowsky (1989) como sendo aplicável na descrição de curvas de regressão assintóticas em pesquisas agrícolas.

$$U_t^* = \alpha - \{1 - \exp[-k(t - t_0)]\} \quad (11)$$

Em que:

- U_t^* : teor de água para um dado instante de tempo, decimal b.s.;
- α : teor de água quando o tempo tende ao infinito, decimal b.s.;
- k : taxa de variação do teor de água no tempo, s^{-1} ;
- t : dado instante de tempo, s; e
- t_0 : tempo inicial, s.

4.3.7.1 Análise estatística do modelo

Para verificar o grau de ajuste do modelo, considerou-se a magnitude do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio relativo (P) e do erro médio estimado (SE). Os dois últimos parâmetros foram calculados conforme as Equações 12 e 13, respectivamente:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \quad (12)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{GLR}} \quad (13)$$

em que:

- Y_i : valor observado experimentalmente;
- \hat{Y}_i : valor estimado pelo modelo;
- n : número de dados; e
- GLR: graus de liberdade do resíduo (número de dados observados menos o número de parâmetros do modelo).

4.3.8. Propriedades mecânicas

Foram realizados ensaios de compressão uniaxiais no Aparelho Universal de Testes, *TA.HD Texture Analyser*, *Stable Micro Systems*, também conhecido como texturômetro, dotado do *software Texture Expert for Windows^R* com célula de carga de 500 N.

Os testes de compressão (Figura 8) dos grãos foram realizados ao longo do período de armazenamento nos grãos *in natura* (tratados e não tratados), em grãos que passaram pelo processo de embebição e em grãos ao longo do processo de cocção.

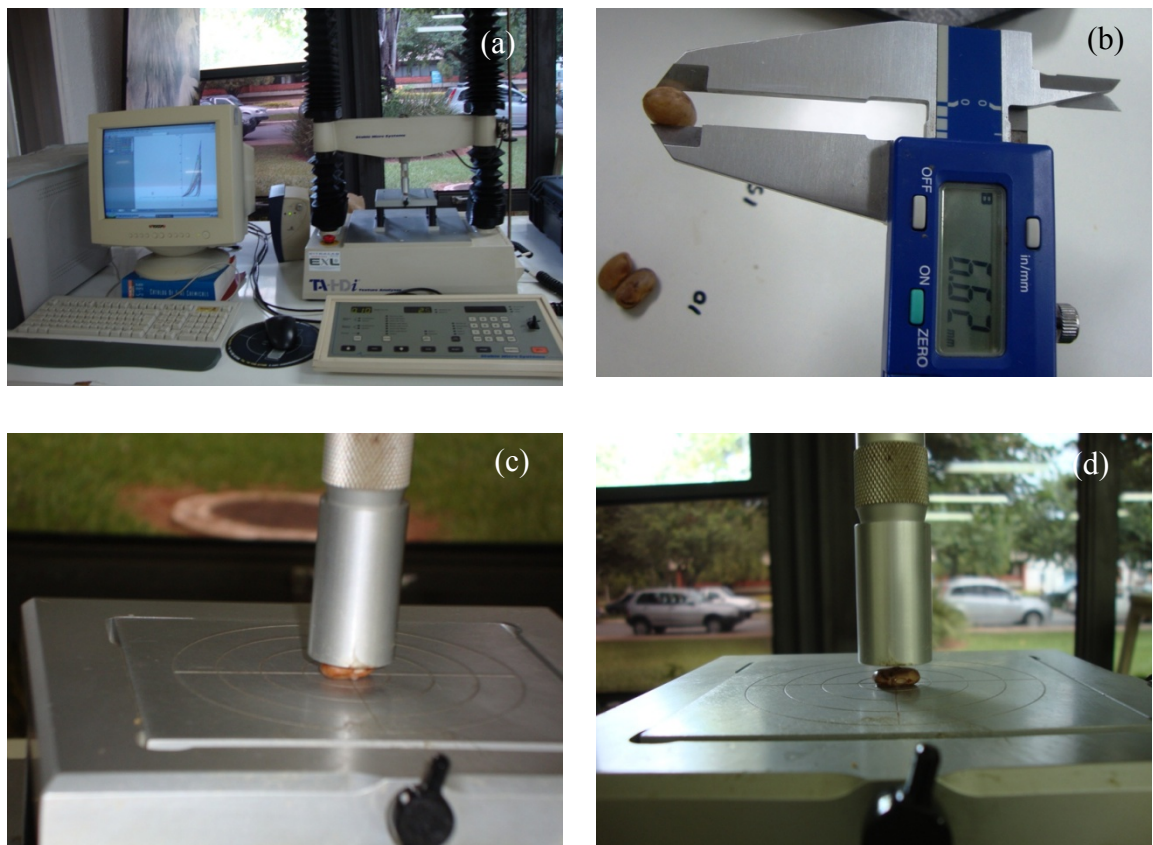


Figura 8 – Teste de compressão realizado nos grãos de feijão, (a) texturômetro, (b) aferição das dimensões característica, (c) e (d) teste em andamento.

Os resultados dos testes forneceram as curvas de força em função da deformação e a força necessária para a ruptura dos grãos. A obtenção das curvas (força versus deformação) permitiu estimar os valores da força máxima

sustentada pelo grão antes do colapso e a deformação do produto neste ponto. O módulo proporcional de deformação foi calculado, utilizando-se a Equação 14, proposta por Batista et al. (2003).

$$E_p = \frac{-E}{1-\mu^2} = \frac{0,531F}{D_t^{1,5}} \left[2 \left(\frac{1}{r_c} + \frac{1}{R_c} \right)^{\frac{1}{3}} \right]^{\frac{3}{2}} \quad (14)$$

em que:

E_p : módulo proporcional de deformação, Pa;

E : módulo de deformidade, Pa;

F : força, N;

μ : razão de Poisson, adimensional;

r_c : raios de curvatura no ponto de contato, m;

R_c : raio equivalente do produto, m; e

D_t : deformação total (elástica e plástica) do corpo nos pontos de contato com a placa superior e inferior, m.

O raio de curvatura e o raio equivalente dos grãos foram obtidos por meio das equações 15 e 16 (Monshenin, 1986), respectivamente, em que os grãos forma considerados corpos convexos. A medição dos eixos ortogonais foi realizada com auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm.

$$r_c = \frac{a}{2} \quad (15)$$

$$R_c = \frac{a^2 + \left(\frac{c^2}{4} \right)}{2c} \quad (16)$$

em que:

a : maior dimensão característica do grão, m; e

c : menor dimensão característica do grão, m.

4.3.8.1 Compressão dos grãos

Os grãos foram submetidos ao esforço de compressão uniaxial, entre duas placas paralelas na posição de repouso, a uma taxa de aplicação de força de $0,001 \text{ m s}^{-1}$. Para cada condição experimental, foram utilizados dez grãos de feijão, sendo o teste finalizado com a deformação fixa de $0,0020 \text{ m}$.

4.3.8.2 Compressão após embebição dos grãos

Os grãos foram embebidos por 12 h, nas temperaturas de 40 e 50 °C. Depois as amostras foram colocadas em papel filtro por 2 minutos para retirada do excesso de água.

Posteriormente, procedeu-se à compressão uniaxial, entre duas placas paralelas, dos grãos na posição de repouso, a uma taxa de aplicação de força de $0,001 \text{ m s}^{-1}$. Para cada condição experimental, foram utilizados dez grãos. O teste foi finalizado quando atingiu-se a deformação fixa de $0,0025 \text{ m}$ e com a obtenção da respectiva força neste ponto, metodologia descrita por Resende et al. (2006).

Para a análise desta etapa do experimento, considerou-se o esquema em parcela subdividida, tendo nas parcelas os níveis de solução de cera (testemunha sem cera, 50 e 100 %, tratamentos 0, 1 e 2, respectivamente) e nas subparcelas o tempo de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 e 240 dias), no delineamento inteiramente casualizado, com dez repetições.

4.3.8.3 Compressão dos Grãos Durante o Processo de Cocção

Os grãos foram embebidos em água destilada durante 12 h, na temperatura de 20 °C. Em seguida, amostras de 50 g foram colocadas em um recipiente metálico mantido à pressão atmosférica, com 500 mL de água destilada em ebulição e com volume constante. Em intervalos de 5 min, foram retiradas amostras de grãos para os testes de compressão durante um período de 30 min.

Posteriormente realizou-se a compressão uniaxial entre duas placas paralelas, com os grãos na posição natural de repouso, a uma taxa de aplicação de força de $0,001 \text{ m s}^{-1}$. Para cada condição experimental, foram utilizados dez grãos. O teste foi finalizado quando atingiu-se a deformação fixa de $0,0025 \text{ m}$,

com a obtenção da respectiva força neste ponto, metodologia adaptada da utilizada por Ribeiro et al. (2007) e Resende (2006).

Para a análise dos dados desta etapa do experimento, considerou-se o esquema em parcela subdividida, tendo nas parcelas os tratamentos e os tempos do tratamento térmico (0, 5, 10, 15, 20, 25 e 30 min) e nas subparcelas o tempo de armazenamento (0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210 e 240 dias). Foi usado delineamento inteiramente casualizado, com dez repetições.

4.4. Armazenamento do produto com infestação de insetos

Para verificar a eficácia do uso da cera contra a infestação de inseto-praga foram realizados testes de infestação. Foi colocado 1 kg de grãos de cada amostra em potes plásticos com capacidade de 2 L. Estes tinham tampa perfurada vedada com organza para garantir a entrada de oxigênio e impedir a saída dos insetos. Em cada pote foram colocados 15 insetos adultos da espécie *Acanthocelides obtectus* (Say) armazenados em local com umidade relativa e temperatura adequados ao desenvolvimento dos insetos (Figura 9). Foram infestados 3 potes de cada tratamento em cada tempo de análise (45, 90, 135 e 225 dias de contato dos insetos com os grãos).



Figura 9 – Acondicionamento dos potes infestados com o inseto-praga *Acanthocelides obtectus*.

A avaliação da porcentagem de infestação foi executada em duas repetições de 100 grãos de cada pote, retirados ao acaso da amostra média. Examinaram-se individualmente 100 grãos secos quanto a orifícios de saída de insetos. Foram separados e contados os grãos perfurados. Os demais grãos de cada repetição, aparentemente não danificadas por insetos, foram imersos em água por tempo suficiente para amolecê-los, usualmente 24 h. Posteriormente, cada grão foi cortado para observação das estruturas internas. Registrou-se o número de grãos de cada repetição que apresentaram larva, pupa ou inseto adulto internamente. Somou-se ao número de grãos perfurados de cada repetição registrados anteriormente para, enfim, obtenção do número total de grãos danificados por insetos (BRASIL, 2009).

Calculou-se a média dos grãos danificados por insetos e expressou-se em porcentagem.

4.5. Delineamento experimental

O experimento foi montado segundo o esquema de parcela subdividida. Nas parcelas ficaram as concentrações de cera e nas subparcelas, o tempo de armazenamento. Empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, com o número de repetições variando conforme o teste empregado.

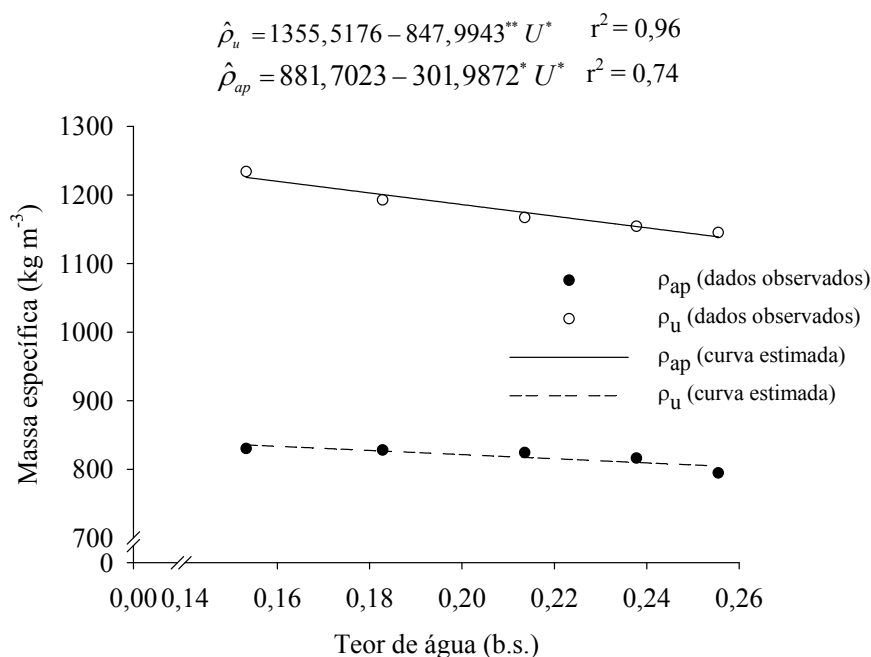
Para o ajuste dos dados experimentais aos modelos matemáticos de Peleg e Mitscherlich, foi utilizado o programa Statistica 7.0[®].

Os dados foram submetidos à análise de variância e de regressão. Os modelos escolhidos basearam-se na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t” de Student adotando-se o nível de 5 % de probabilidade, no coeficiente de determinação e no fenômeno biológico.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Propriedades físicas

5.1.1. Massa específica real ou unitária e massa específica aparente



**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Figura 10 - Valores observados e estimados da massa específica unitária (ρ_u) e aparente (ρ_{ap}) nos diferentes teores de água.

A massa específica unitária (ρ_u) e aparente (ρ_{ap}) diminuíram linearmente com o aumento do teor de água dos grãos (Figura 10). Os valores estimados da massa específica unitária e aparente variaram entre 1228,32 a 1145 kg m⁻³ e 836,40 a 803,19 kg m⁻³, respectivamente, para o teor de água do produto variando de 0,15 a 0,26 (decimal, b. s.). Estes resultados corroboram aos encontrados por outros autores na literatura no estudo de outras culturas, sendo o mesmo comportamento linear observado por Resende et al. (2008 b) em seu trabalho com grãos de feijão do grupo vermelho, Altuntaş e Yildiz (2007) para fava, Al Mahasneh e Rababah (2007) para trigo verde.

Obteve-se uma redução de $8,48 \text{ kg m}^{-3}$ na massa específica unitária e de $3,02 \text{ kg m}^{-3}$ na massa específica aparente, para um incremento de 0,01 no teor de água. Esse resultado deve-se ao fato de que nos maiores teores de água, o volume do grão é proporcionalmente maior que a massa do grão, o que acarreta menores de massa específica unitária e aparente.

5.1.2. Porosidade

Os resultados obtidos para a porosidade (ϵ) podem ser observados na Figura 11. Nota-se uma diminuição nos valores da porosidade de 62,93 para 61,03 % para um aumento de 0,15 para 0,24 (decimal, b. s.) no teor de água, seguido de um aumento para 61,76 % no teor de água de 0,26. O modelo polinomial de segunda ordem foi o que melhor ajustou-se aos dados. Al-Mahasneh e Rababah (2007) também reportaram um comportamento quadrático para a porosidade, entretanto outros autores observaram um comportamento linear para esta propriedade (AMIM et al, 2004; KARABABA, 2006; COŞKUNER e KARABABA, 2007).

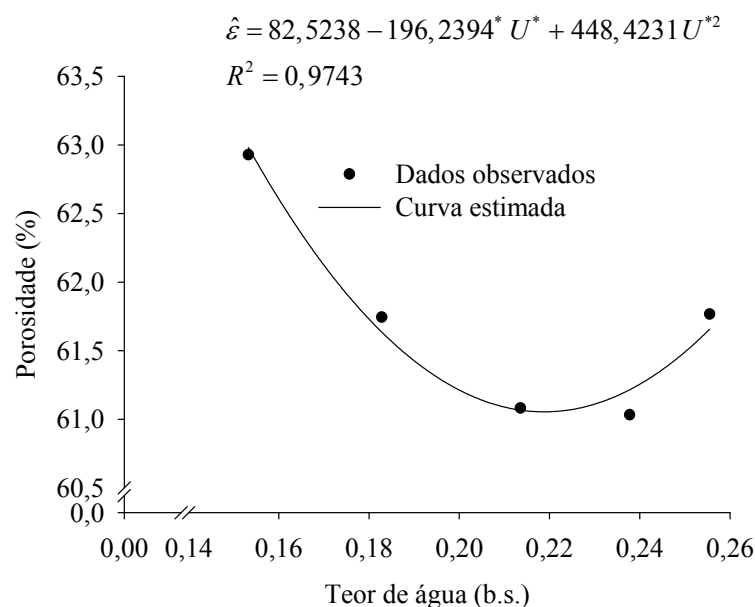
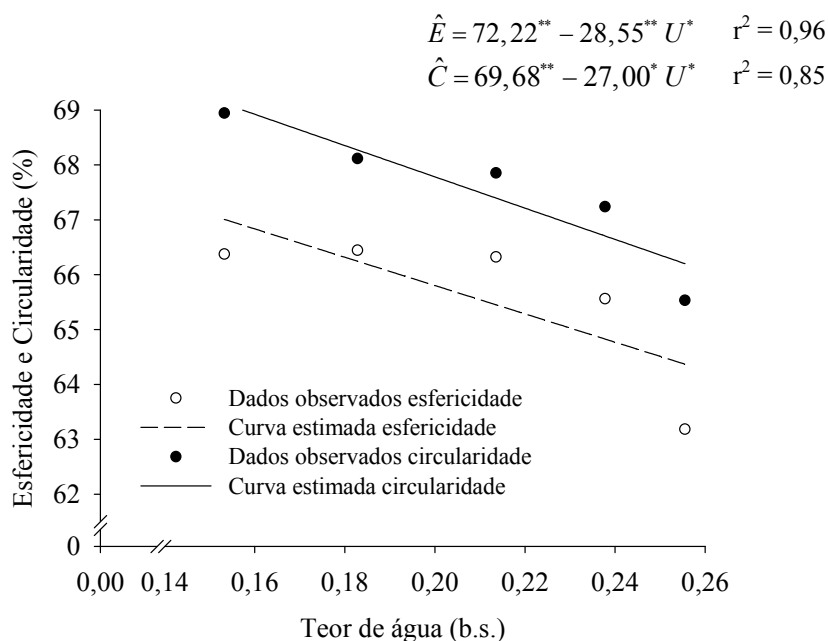


Figura 11 – Porosidade dos grãos de feijão em função do teor de água.

5.1.3. Esfericidade e Circularidade



**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

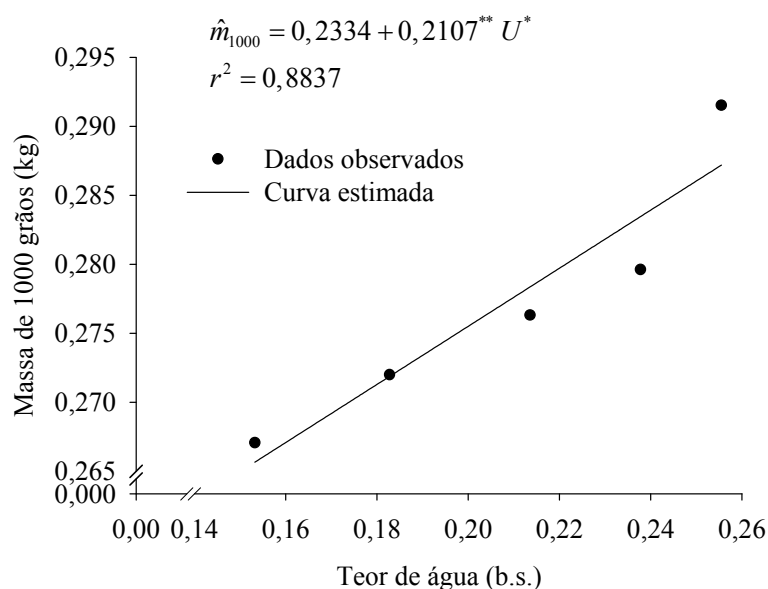
Figura 12 – Valores da esfericidade e da circularidade dos grãos de feijão em função do teor de água.

Verificou-se uma diminuição linear na esfericidade e na circularidade dos grãos de feijão com o aumento do teor de água. Ocorreu uma diminuição de 67,91 para 64,67 % na esfericidade e de 65,25 para 62,14 % na circularidade nos teores de água estudados. Desta forma, observou-se uma taxa de decréscimo de 28,55 e 27 %, na esfericidade e na circularidade, respectivamente, a cada aumento de uma unidade no teor de água.

Os resultados obtidos divergem dos encontrados na literatura, visto que, Altuntaş e Yildiz (2007) para grãos de fava, Al Mahasneh e Rababah (2007) para grãos de trigo verde, dentre outros autores, observaram uma relação direta entre a esfericidade e o teor de água dos grãos. Esta relação inversa entre a esfericidade, a circularidade e o teor de água pode ser justificada pelo fato dos grãos de feijão do tipo carioca possuir um formato mais alongado, assim os grãos com maiores teores de água se distanciam do formato do circular e da esfera.

5.1.4. Massa de 1000 grãos

A massa de 1000 grãos (m_{1000}) dos grãos de feijão aumentou linearmente de 0,267 para 0,292 kg quando o teor de água passou de 0,15 para 0,26 (decimal, b. s.). Observou-se assim, uma taxa de aumento de 0,2107 kg na massa de 1000 grãos dos grãos de feijão para um aumento de uma unidade no teor de água.



**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t

Figura 13 – Variação da massa de 1000 grãos do feijão tipo carioca em função do teor de água (U^*).

5.2. Armazenagem dos grãos

5.2.1. Monitoramento das condições do ambiente de armazenagem

O armazenamento dos grãos de feijão tratados e não tratados foi realizado de agosto de 2009 a julho de 2010. Na Figura 14 estão apresentados os valores médios mensais da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente durante todo o tempo de armazenagem, incluindo o período de análise dos grãos infestados.

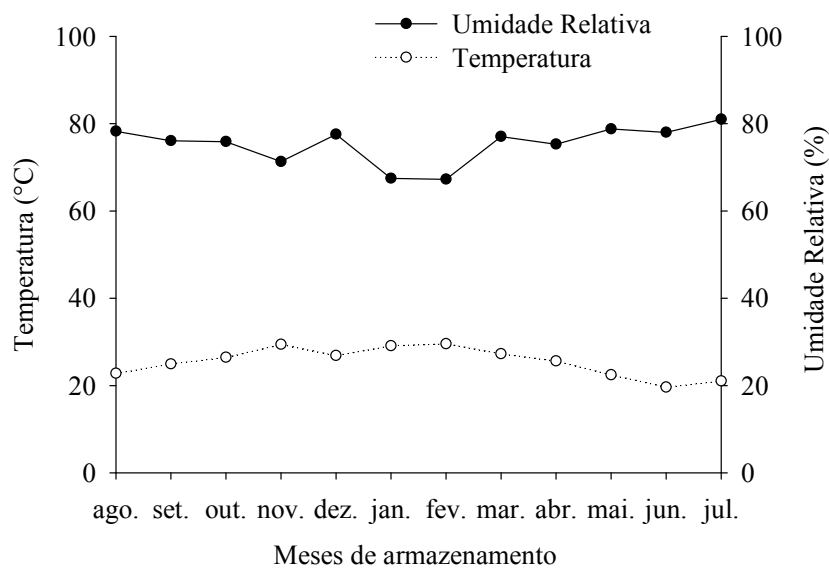


Figura 14 – Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar durante a armazenagem dos grãos de feijão em ambiente não controlado.

Apenas pequenas variações foram observadas nas propriedades psicrométricas do ar no local onde os grãos de feijão foram armazenados, caracterizadas na Figura 14 pela temperatura, tendo como média 26,8 °C, e pela umidade relativa, com média de 74 %. O feijão foi armazenado no laboratório onde foram feitas as demais análises, onde o ar sofre pouca influência das condições externas e assemelha-se ao armazenamento em nível de pequenas fazendas, onde o ambiente não é controlado.

Verificou-se, pela Figura 15, que o teor de água dos grãos de feijão, de maneira geral, diminuiu ao longo do tempo de armazenamento, fato este que ocorreu de forma mais acentuada na amostra testemunha e no tratamento 2 (grãos tratados com solução de cera na concentração de 100 %), sendo que para a amostra testemunha observou-se um período de pequenas oscilações, do início do armazenamento até o mês de janeiro.

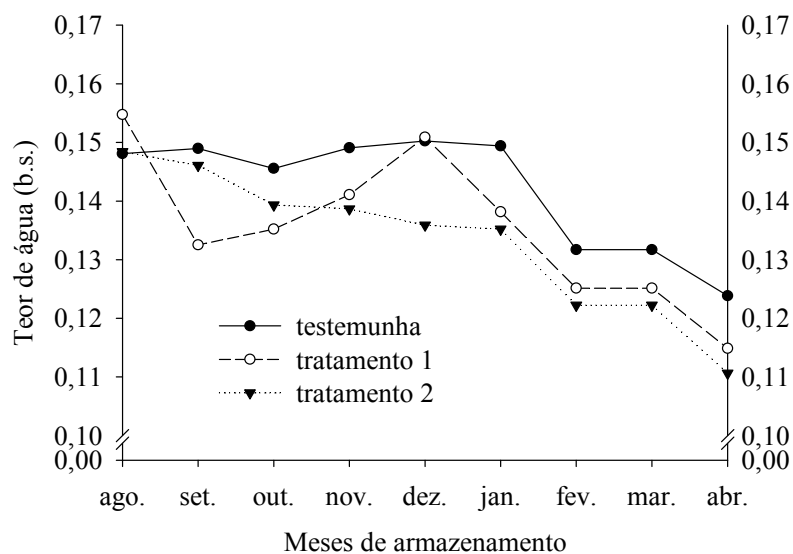


Figura 15 – Teor de água médio dos grãos durante o período de armazenagem.

O maior valor do teor de água observado foi de 0,155 (decimal, b.s.) no tratamento 1 e o menor de 0,111 (decimal, b.s.) no tratamento 2. As variações no teor de água podem ser justificadas pela propriedade de ceder ou absorver água observada em materiais higroscópicos, inclusive em grãos de feijão, tendendo a manter uma relação de equilíbrio entre o seu teor de água e a umidade relativa do ambiente.

5.2.2. Análise sensorial

Na Figura 16 são apresentados os resultados obtidos pela análise sensorial das amostras de feijão de todos os tratamentos realizados, transformados segundo a escala hedônica de nove pontos.

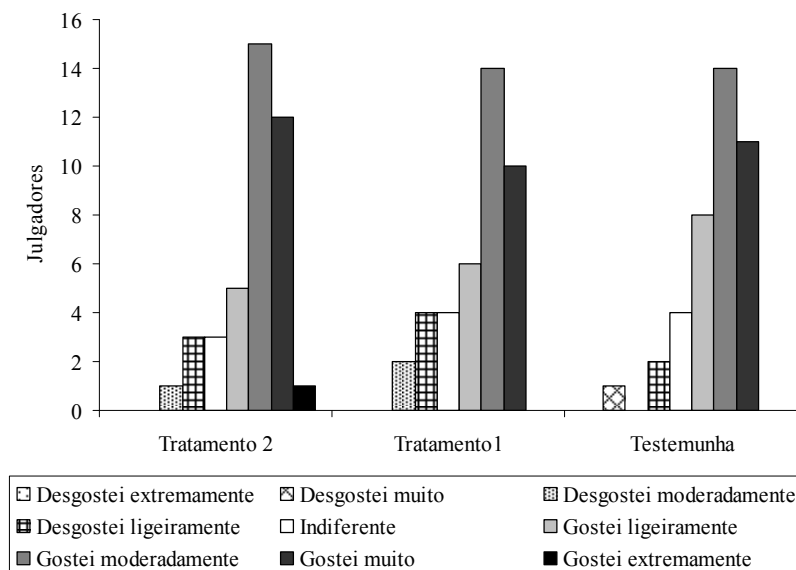


Figura 16 - Valores da análise sensorial dos grãos submetidos ao tratamento 1 e 2 (grãos de feijão revestidos com a solução de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 %, respectivamente) e a testemunha (grãos sem revestimento de cera) armazenados por 8 meses em ambiente não controlado.

Observou-se que em todos os tratamentos uma maior porcentagem de julgadores classificaram os grãos nos maiores níveis de aceitação da escala hedônica (Figura 16). O tratamento 2 obteve maior aprovação dentre os três tratamentos, obtendo maiores porcentagens de julgadores nos maiores níveis de aceitação. Entretanto, o teste de Dunnett apontou que não existe diferença significativa entre os três tratamentos, quanto à aceitação sensorial, a 5 % de probabilidade.

Logo, o resultado obtido, foi satisfatório, pois viabiliza o uso do revestimento dos grãos de feijão com cera de carnaúba no que diz respeito à manutenção da qualidade sensorial do produto durante o armazenamento, sendo que, todos os tratamentos avaliados obtiveram aceitação, entre os escores hedônicos gostei ligeiramente, gostei moderadamente e gostei muito.

5.2.3. Determinação dos índices de cor

Estão apresentados na Tabela 2 os modelos estatísticos que melhor se ajustaram aos resultados dos índices colorimétricos: (croma (C^*) e ângulo hue (h^*)), da diferença de cor (ΔE) e do índice de escurecimento (BI), bem como seus coeficientes de determinação.

De acordo com o resumo da análise estatística da regressão houve efeito significativo dos tratamentos e do tempo de armazenamento no croma, na diferença de cor e no índice de escurecimento ao nível de significância de 1 %. Entretanto, para o ângulo hue verificou-se efeito significativo apenas do tempo de armazenamento.

Tabela 2 – Modelos estatísticos ajustados para o croma (C^*), o ângulo hue (h^*), a diferença de cor (ΔE) e o índice de escurecimento (BI) em função do tempo de armazenamento (t) em dias e da concentração de cera aplicada (TC), com seus respectivos coeficientes

Modelo estatístico	R^2/r^2
$\hat{C}^* = 17,4136^{**} + 0,0099^{**} t + 0,0479^{**} TC - 0,0004^{**} TC^2$	0,7337
$\hat{h}^* = 56,1886^{**} - 0,0247^{**} t$	0,7933
$\Delta \hat{E} = 0,6951^* + 0,0389^{**} t - 0,0102^{**} TC$	0,9571
$\hat{BI} = 55,7056^{**} + 0,1598^{**} t + 0,1151^{**} TC$	0,7728

* = significativo a 5 % de probabilidade

** = significativo a 1 % de probabilidade

O efeito das diferentes combinações de concentrações de solução de cera e dos períodos de armazenamento no croma, no ângulo hue, na diferença de cor e no índice de escurecimento dos grãos de feijão está apresentado na Figura 17.

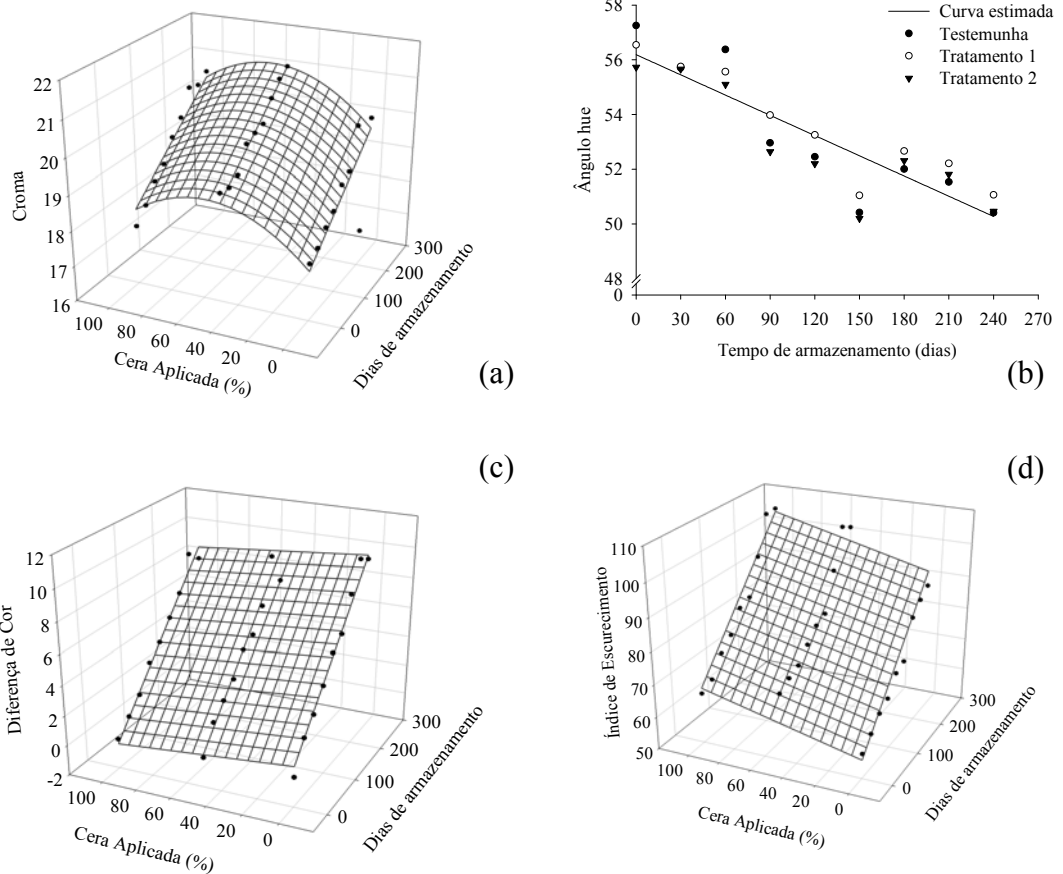


Figura 17 - Cromo (a), ângulo hue (b), diferença de cor (c) e o índice de escurecimento (d) dos grãos de feijão em função da concentração de cera aplicada e/ou tempo de armazenamento.

Observa-se na Figura 17 (a) que o croma aumentou de forma linear com o tempo de armazenamento e de forma quadrática em relação à concentração de cera aplicada nos grãos. Verificou-se pelo modelo estimado que o ponto de máximo para o croma, encontra-se próximo da concentração de 59 % e a partir deste os valores diminuíram, sendo que, dentre os dados observados o maior valor do croma foi 21,17 aos 240 dias de armazenamento para os grãos tratados com solução de cera na concentração de 50 %.

Verificou-se interação significativa entre o ângulo hue e o tempo de armazenamento, caracterizada por diminuição dos valores do ângulo hue com o aumento do tempo de armazenamento. Os valores médios observados para o ângulo hue no tempo de 0 e 240 dias foram de 56,50 e 50,64, respectivamente.

Constatou-se assim uma pequena diferença entre a etapa inicial e final do armazenamento, que não alterou a tonalidade da cor marrom.

Com base na Figura 17 (c), nota-se que a diferença de cor cresceu linearmente com o tempo de armazenamento e decresceu com a concentração de cera aplicada nos grãos de feijão. Levando-se em consideração as condições iniciais de armazenamento, a maior diferença de cor foi de 10,19, sendo obtida no tempo de 210 dias de armazenamento na concentração de 0 % de cera, ou seja, para a amostra testemunha.

Entretanto, Rigueira et al. (2009) avaliou a conservação da qualidade de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) por meio do resfriamento artificial em câmara fria ($15 \pm 5^{\circ}\text{C}$) durante o armazenamento por 120 dias, concluíram que o tempo de armazenamento não causou alterações significativas no croma e no ângulo hue.

A aplicação da solução de cera de carnaúba, que possui uma cor castanho escuro, causou o escurecimento dos grãos, apresentando um aumento com o tempo de armazenamento, fato este que pode ser observado na Figura 17 (d). Verificou-se, pela significância de 1 % de probabilidade pelo teste “t” e o elevado valor do coeficiente de determinação, que o modelo representou satisfatoriamente a influência do tempo e do tratamento no escurecimento dos grãos de feijão do grupo carioca (Tabela 2).

Rios et al. (2002) concluíram que o escurecimento dos grãos de feijão durante o armazenamento, pode ser consequência do aumento da atividade da enzima polifenoloxidase associada à atividade da enzima peroxidase e ao aumento do conteúdo de compostos fenólicos. Ainda verificaram que a cultivar Carioca dentre as três estudadas foi a que apresentou menor atividade enzimática durante o armazenamento e, portanto a que obteve menor escurecimento.

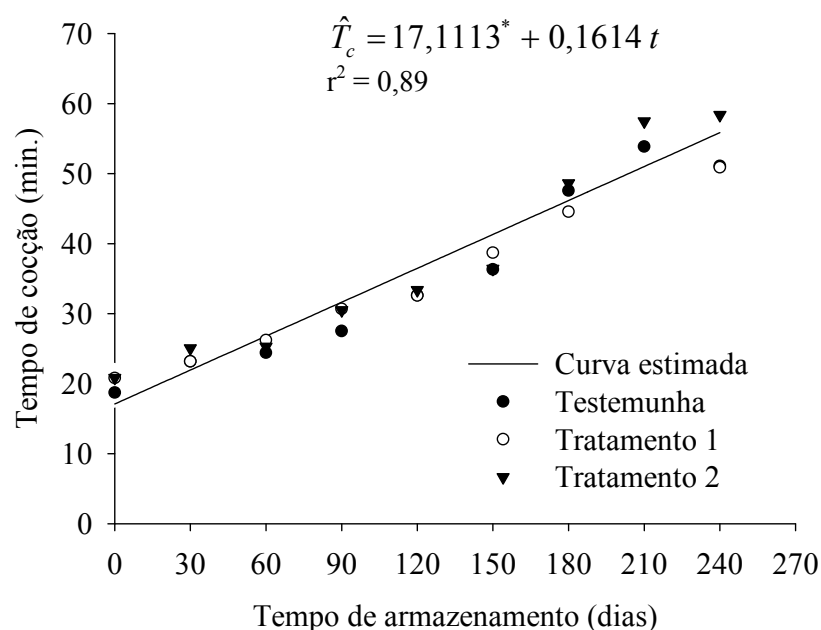
Brackmann et al. (2002) atribuíram à temperatura e à luz o aumento do escurecimento dos grãos de feijão do grupo carioca armazenados em condições não controladas, citando Luh e Phithakpol (1972) que também encontraram, em cultivares de feijão com tegumento colorido, incluindo o grupo carioca, alto teor de tanino, que pode ser oxidado pela catecoloxidase na presença de oxigênio.

Visto que, o estudo da cor é um parâmetro de escolha no processo de comercialização do produto, pode-se inferir que a aplicação da cera de carnaúba não alterou o aspecto visual da cor dos grãos, podendo ser utilizada sem causar danos ao processo.

5.2.4. Tempo de cocção

De acordo com a análise estatística da regressão, o modelo linear representou satisfatoriamente a influência do tempo de armazenamento no tempo de cocção (T_c), apresentando elevado valor do coeficiente de determinação e nível de significância. Este comportamento também foi observado por Resende et al., (2008 a) e Coelho et al. (2009). Na Figura 18 é possível verificar o efeito do tempo de armazenamento no tempo de cocção dos grãos de feijão do grupo carioca tratados e não tratados.

Com base em trabalhos com frutas (Jacomino et al. (2003); Malgarin et al. (2007)) a aplicação da cera de carnaúba ocasiona uma redução no metabolismo do produto, acarretando na menor perda de água. Desta forma, esperava-se que com a aplicação da emulsão de cera de carnaúba houvesse uma diminuição no tempo de cocção dos grãos tratados em relação a amostra testemunha ao longo do armazenamento. Entretanto, este efeito não foi observado, pois o endurecimento dos cotilédones foi verificado, caracterizando o dano conhecido como *hard-to-cook*. A resistência dos grãos ao amolecimento durante o cozimento pode ser atribuída a vários mecanismos, tais como: a oxidação lipídica, a formação de pectatos insolúveis e a lignificação da lamela média (LIU, 1995).



* = significativo a 1% de probabilidade

Figura 18 – Tempo de cocção dos grãos de feijão (T_c) tratados com emulsão de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e sem tratamento (testemunha) em função do tempo de armazenamento (t).

O aumento do tempo de armazenamento elevou linearmente o tempo de cocção, independente dos grãos terem sido tratados ou não com emulsão de cera de carnaúba (Figura 18). Obteve-se tempos em torno de 18,7 minutos para as amostras da testemunha no tempo inicial de armazenamento e de 58,4 minutos para as amostras do tratamento 2, após os 240 dias. Este comportamento também foi observado por Resende et al., (2008 a) e Coelho et al. (2009).

Com base em trabalhos com frutas (Jacomino et al. (2003); Malgarin et al. (2007)) a aplicação da cera de carnaúba ocasiona uma redução no metabolismo do produto, acarretando na menor perda de água. Desta forma, esperava-se que com a aplicação da emulsão de cera de carnaúba houvesse uma diminuição no tempo de cocção dos grãos tratados em relação a amostra testemunha ao longo do armazenamento. Entretanto, este efeito não foi observado, pois o endurecimento dos cotilédones foi verificado, caracterizando o dano conhecido como *hard-to-cook*. A resistência dos grãos ao amolecimento durante o cozimento pode ser

atribuída a vários mecanismos, tais como: a oxidação lipídica, a formação de pectatos insolúveis e a lignificação da lamela média (LIU, 1995).

Lemos et al. (2004) avaliaram o comportamento de diferentes genótipos de feijão do grupo comercial Carioca, quanto as características agronômicas e tecnológicas, verificando tempos de cocção de 15 a 25 minutos para grãos recém colhidos (10 dias após a colheita) e concluiu que a semeadura em diferentes épocas afeta as características de hidratação e o tempo de cozimento dos grãos de feijão.

Coelho et al. (2008) avaliaram o efeito da temperatura da água de embebição sobre a capacidade de cocção e se a hidratação poderia ser um indicativo do menor tempo de cocção em grãos de feijão e concluiu que ao considerar as cinco cultivares analisadas, é improvável fazer qualquer padronização das condições prévias do cozimento sem uma caracterização mais detalhada de cada cultivar.

5.2.5. Capacidade de absorção de água

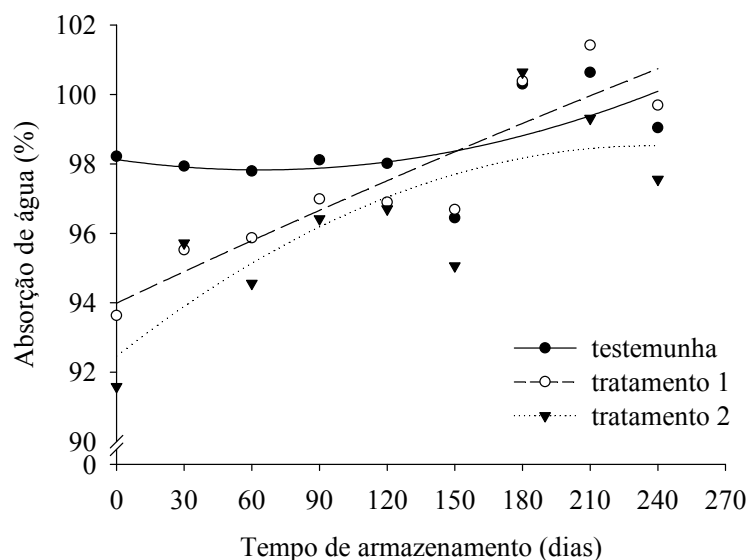


Figura 19 – Porcentagem de absorção de água dos grãos tratados com emulsão de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamento 1 e 2, respectivamente) e não-tratados (testemunha) em função do tempo de armazenamento.

Observou-se pela Figura 19 uma maior capacidade de absorção de água nos grãos da amostra testemunha em relação às amostras tratadas no início do tempo de armazenamento. Este fato, que pode ter sido ocasionado pela aplicação da camada de cera, sendo que a medida que aumentou-se o tempo de armazenamento houve uma tendência na aproximação dos valores. Rodrigues et al. (2005) avaliaram duas cultivares de feijão quanto à capacidade de absorção e encontrou o valor de 101,7 % para grãos do grupo carioca embebidos por 12 h em água destilada, valor este que é próximo ao observado neste trabalho.

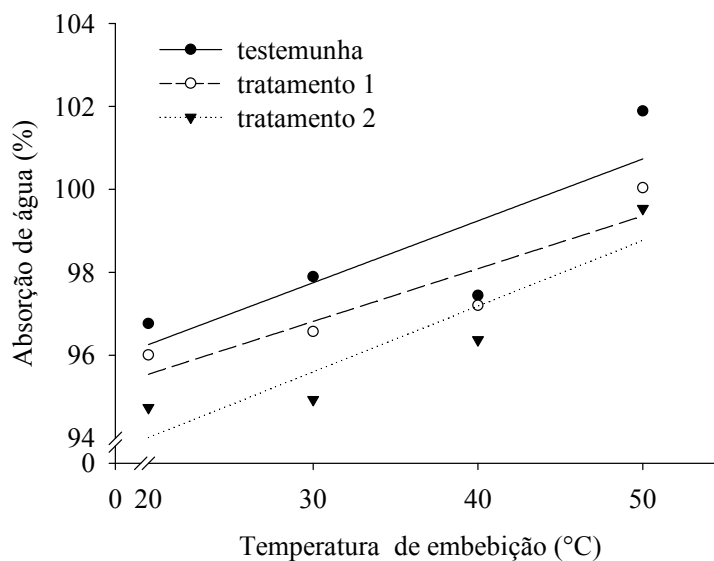


Figura 20 – Valores médios da capacidade de absorção de água (%) dos grãos de feijão tratados com emulsão de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamento 1 e 2, respectivamente) e não-tratados (testemunha) em função da temperatura da água de embebição.

O aumento da temperatura da água de embebição causou um aumento linear na capacidade de absorção dos grãos de feijão (Figura 20). Estes resultados corroboram com os encontrados por Coelho et al. (2008) que verificou um aumento significativo na capacidade de hidratação com o aumento da temperatura da água de embebição, para os grãos da cultivar Pérola e Rubi.

Moura (1998) citado por Esteves et al. (2002) relatou que os polifenóis são responsáveis pelo endurecimento dos feijões e o fazem por meio de dois mecanismos: pela polimerização na casca dos grãos ou pela lignificação dos cotilédones, ambos afetando a capacidade de hidratação das sementes; o primeiro, dificultando a penetração da água, e o segundo, limitando a capacidade de embebição.

Com base no modelo estatístico que melhor se ajustou aos dados a capacidade de absorção aumentou linearmente com o tempo de armazenamento e com a concentração de cera aplicada e de forma polinomial com a temperatura de embebição (Tabela 3). Ao nível de significância trabalhado, todas as variáveis estudadas foram significativas pelo teste t.

Tabela 3 - Regressão ajustada aos valores experimentais da capacidade de absorção de água (A_g) e o coeficiente de determinação (R^2) e seus respectivos níveis de significância

Modelo Ajustado	R^2
$\hat{A}_g = 98,8065 - 0,0210^{**} TC - 0,3543^* T + 0,0071^{**} T^2 + 0,0205^{**} t$	0,5643

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Em que,

TC : concentração de cera aplicada nos grãos (%),

T : temperatura de embebição (°C),

t : tempo de armazenamento (dias).

5.2.6. Modelagem do processo de embebição

Os grãos de feijão apresentaram um comportamento característico para a absorção de água durante o processo de embebição (Figura 21). No início do processo exibiu uma taxa de absorção de água maior, tendendo a diminuir com o tempo e se estabilizar à medida que o produto se aproxima do seu teor de água de equilíbrio (RESIO et al. 2006; JIDEANI e MPOTOKWANA, 2009; BOTELHO et al., 2010).

Bello et al. (2004) relataram que este comportamento pode ser atribuído à rápida absorção de água pelos capilares das camadas externas do pericarpo, promovendo assim uma rápida elevação do teor de água no produto, tendendo a diminuir com a saturação. Botelho (2009) argumenta que as altas taxas de absorção inicial de água podem ser ocasionadas pelo alto gradiente de teor de água existentes entre os vários tecidos constituintes do grão com o meio.

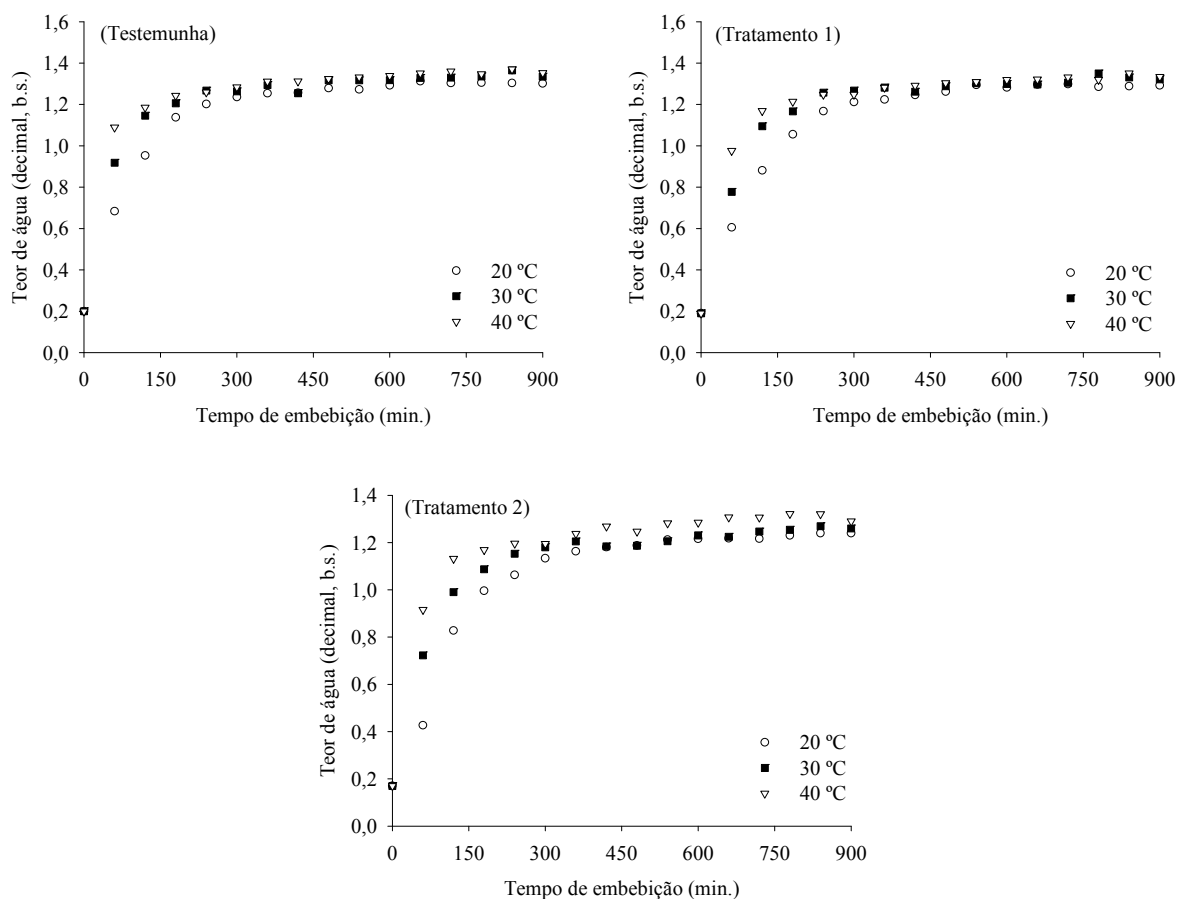


Figura 21 – Teor de água ao longo do tempo de embebição em diferentes temperaturas para os tratamentos 1 e 2 (grãos de feijão tratados com emulsão de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 %, respectivamente) e para a testemunha (grãos de feijão sem tratamento com cera) .

Nota-se que depois de decorridos 300 min (5 h) de teste torna-se difícil fazer a distinção do efeito das temperaturas (20, 30, 40 °C) no processo de absorção. A temperatura de 40 °C foi a condição em que houve maior absorção de água, independentemente do tratamento avaliado.

Os valores iniciais e finais de cada tratamento encontraram-se próximos, verificou-se valores iniciais de 0,2; 0,19 e 0,17 para as amostras testemunha, do tratamento 1 e do tratamento 2, respectivamente e valores finais de, aproximadamente, 1,30; 1,34 e 1,35 para as amostras da testemunha nas temperaturas de 20, 30, 40 °C, respectivamente, de 1,29; 1,32 e 1,33 para as amostras do tratamento 1 nas temperaturas de 20, 30, 40 C, respectivamente, e de

1,23; 1,25 e 1,30 para as amostras do tratamento 2 nas temperaturas de 20, 30, 40 °C, respectivamente.

Avaliou-se o desempenho modelo de Peleg pelas magnitudes dos parâmetros estatísticos apresentados para o modelo que melhor ajustou-se aos dados observados para todas as condições de temperatura e tratamentos nos grãos de feijão (Tabela 4)

Tabela 4 – Erro médio estimado (SE), erro médio relativo (P), coeficiente de determinação (R^2) e coeficientes (C_1 e C_2) do modelo de Peleg obtidos pelo ajuste aos dados experimentais da embebição dos grãos de feijão, tratados com emulsão de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e sem tratamento (testemunha) em diferentes temperaturas.

Amostra	T (°C)	C_1 (100 h kg _{ms} kg _a ⁻¹)	C_2 (100 h kg _{ms} kg _a ⁻¹)	SE	P (%)	R^2
Testemunha	20	0,961065**	0,815130**	0,038	2,62	0,9556
	30	0,498505**	0,839146**	0,020	1,18	0,9693
	40	0,305260**	0,849002**	0,014	0,77	0,9709
Tratamento 1	20	1,200381**	0,793285**	0,041	3,11	0,9583
	30	0,678437**	0,821510**	0,035	2,36	0,9440
	40	0,405216**	0,846392**	0,012	0,63	0,9857
Tratamento 2	20	1,519170**	0,801368**	0,060	5,23	0,9291
	30	0,785573**	0,860174**	0,026	1,89	0,9690
	40	0,470748**	0,848447**	0,020	1,25	0,9659

** p-valor < 0,0001 (probabilidade da hipótese nula verdadeira)

O modelo de Peleg apresentou valores do coeficiente de determinação acima de 92 %, p-valor (probabilidade da hipótese de nulidade ser verdadeira) para todas as condições e coeficientes menor que 0,0001, valores satisfatórios do desvio padrão da estimativa e uma variabilidade dos dados estimados menor que 10 %. De acordo com Cunningham et al. (2007), o coeficiente de determinação isolado, não deve ser usado como critério de avaliação de modelos não lineares,

entretanto, a combinação desses coeficientes prediz se o ajuste do modelo foi satisfatório.

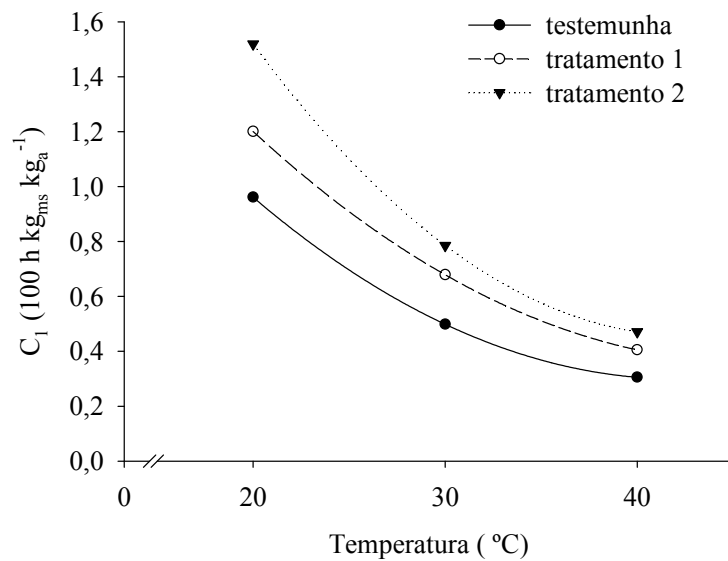


Figura 22– Variação da taxa constante de Peleg (C1) em função da temperatura para os grãos de feijão tratados com emulsão de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e não tratados (testemunha).

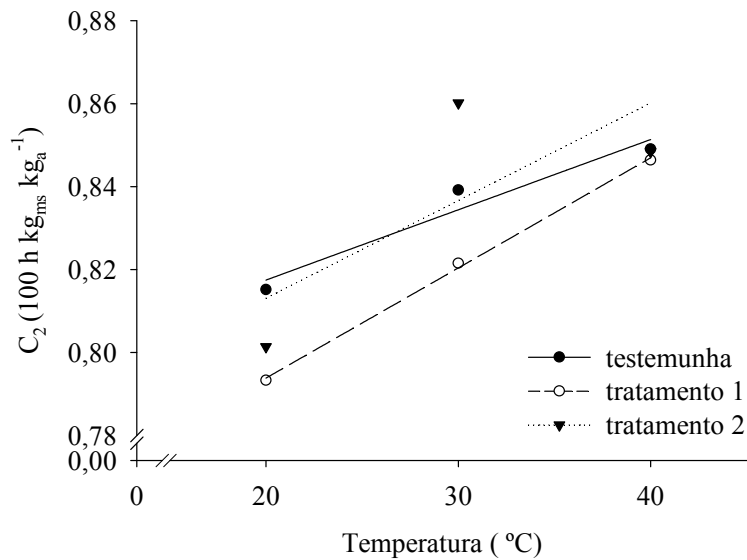


Figura 23 – Variação da capacidade constante de Peleg (C2) em função da temperatura para os grãos de feijão tratados com emulsão de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e não tratados (testemunha).

A taxa constante de Peleg (C_1), que está relacionada com a taxa de transferência de massa, decresceu com o aumento da temperatura (Figura 22) e essa diminuição foi mais expressiva para os grãos tratados com maiores concentrações de cera de carnaúba. Além disso, quanto maior a concentração de cera menor foi o valor da constante para uma mesma temperatura.

A capacidade constante de Peleg (C_2) está relacionada com a capacidade máxima de absorção de água, sendo que quanto menor seu valor maior será a absorção de água do produto. Observou-se que a constante variou linearmente com a temperatura, aumentando com a elevação da mesma (Figura 23), efeito verificado também por Jideani e Mpotokwana (2009) para temperaturas entre 25 e 75 °C, demonstrando que a taxa de absorção de água aumenta com a diminuição da capacidade de absorção e o aumento da temperatura. Entretanto, na maioria dos trabalhos dessa linha de pesquisa observa-se a diminuição da constante em função do aumento da temperatura (CUNNINGHAM et al., 2007; RESENDE e CÔRREA, 2007; BOTELHO et al., 2010).

Este comportamento apresentado pela constante C_1 foi observado por Botelho et al. (2010) em análise da hidratação do arroz, por Resende e Côrrea (2007) com hidratação de sementes de feijão e por Cunningham et al. (2007) com pasta durante o cozimento, observaram que a constante decresce com o aumento da temperatura, porém numa relação linear.

Avaliou-se o desempenho do modelo de Mitscherlich e verificou-se, também pelas magnitudes dos parâmetros estatísticos apresentados que o modelo ajustou-se aos dados observados para todas as condições de temperatura e tratamentos nos grãos de feijão (Tabela 5).

O modelo de Mitscherlich é amplamente utilizado na área de solos, na descrição de uma a resposta da cultura a um aumento de algum fator que esteve limitando o crescimento (Mitscherlich (1909) citado por Harmsen (2000)), sem nenhuma referência na literatura para a área de grãos, podendo tornar-se uma opção de ajuste na modelagem da embebição dos grãos, visto bom desempenho do mesmo.

Tabela 5 - Erro médio estimado (SE), erro médio relativo (P), coeficiente de determinação (R^2) e coeficientes (α e k) do modelo de Mitscherlich obtidos pelo ajuste aos dados experimentais da embebição dos grãos de feijão, tratados com emulsão de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e sem tratamento (testemunha) em diferentes temperaturas

Amostra	T (°C)	α (decimal, b.s.)	k (s ⁻¹)	SE	P (%)	R^2
Testemunha	20	1,289323**	0,702329**	0,018	1,37	0,9897
	30	1,308164**	1,114499**	0,035	2,31	0,9076
	40	1,319671**	1,572409**	0,043	2,68	0,7041
Tratamento 1	20	1,284262**	0,590782**	0,015	1,13	0,9944
	30	1,300713**	0,882003**	0,025	1,48	0,9720
	40	1,300490**	1,281183**	0,036	2,33	0,8778
Tratamento 2	20	1,225876**	0,513848**	0,018	1,37	0,9897
	30	1,222316**	0,828341**	0,035	2,31	0,9076
	40	1,268612**	1,175124**	0,043	2,68	0,7041

** p-valor < 0,0001 (probabilidade da hipótese nula verdadeira)

Tanto a constante α (Figura 24), quanto a taxa de variação do teor de água no tempo (k) (Figura 25), descritas no modelo de Mitscherlich apresentaram uma tendência ao aumento linear com o aumento da temperatura de embebição dos grãos de feijão tratados e não tratados, sendo que em ambos os casos, verificou-se para uma mesma temperatura, maiores valores para as constantes da amostra testemunha.

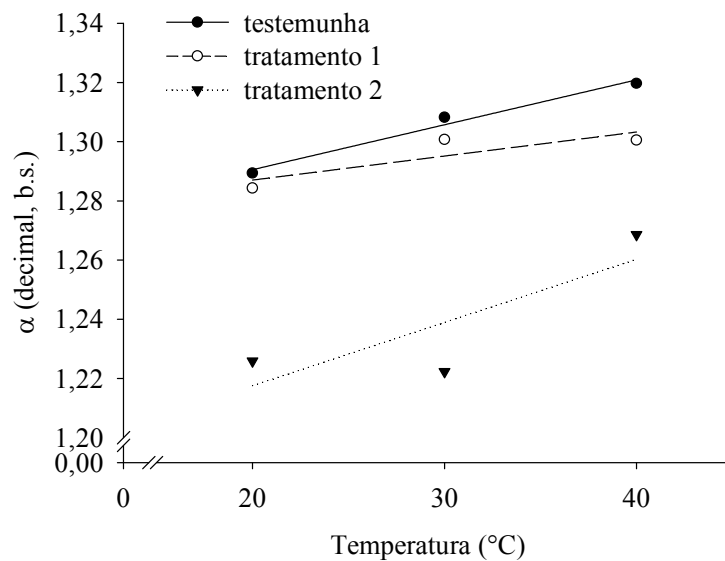


Figura 24 – Variação da constante α em função da temperatura para os grãos de feijão tratados com emulsão de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e não tratados (testemunha).

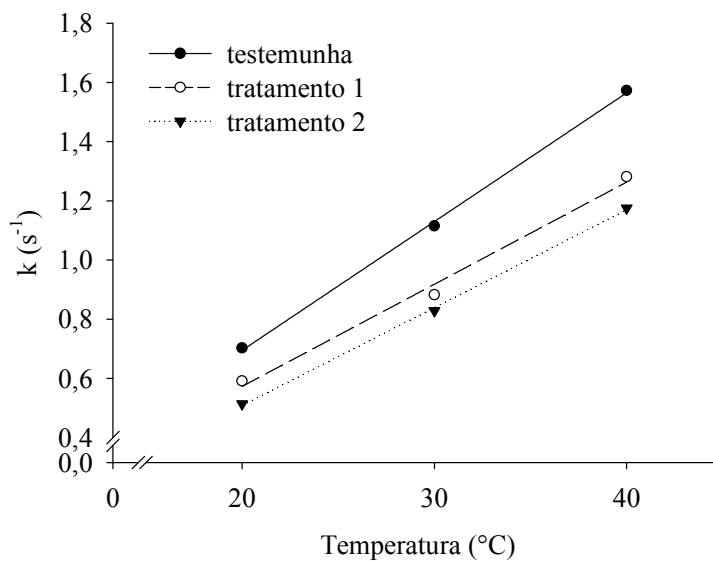


Figura 25 – Variação da taxa de variação do teor de água no tempo (k) em função da temperatura para os grãos de feijão tratados com emulsão de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e não tratados (testemunha).

5.2.7. Propriedades mecânicas

Nos resultados provenientes do teste de compressão não se verificou diferença estatística entre os grãos testemunha e os tratados com emulsão de cera

de carnaúba. Por outro lado, o tempo de armazenamento teve um efeito significativo ($p < 0,05$) sobre a força necessária para provocar uma deformação específica de 0,0025 m nos grãos de feijão.

A Figura 26 contém os valores médios observados da força máxima (F) necessária para promover uma deformação específica de 0,0025 m nos grãos de feijão submetidos a uma compressão uniaxial na posição natural de repouso, em grãos *in natura* (Figura 26 (a)), que foram embebidos à temperatura de 40 °C (Figura 26 (b)), à temperatura de 50 °C (Figura 26 (c)) e em grãos ao longo do processo de cocção (Figura 26 (d)), para os grãos de feijão tratados com solução de cera de carnaúba (tratamentos) e não tratados (testemunha), em diferentes tempos de armazenamento.

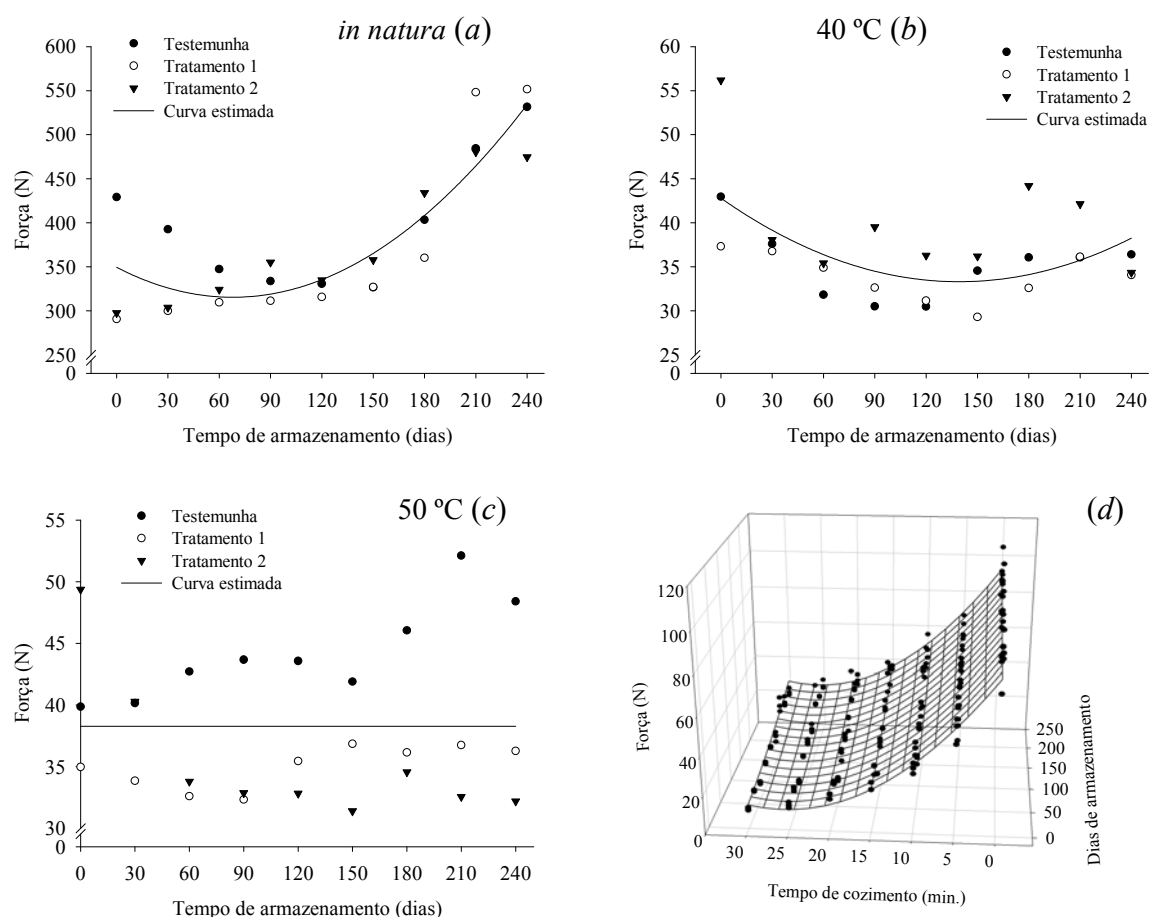


Figura 26 - Valores médios observados e estimados da firmeza dos grãos de feijão, tratados com emulsão de cera de carnaúba na concentração de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) e não tratados (testemunha).

Observou-se que o tratamento com a solução de cera de carnaúba não foi eficiente, de tal forma, a diminuir a firmeza dos grãos ao longo do armazenamento em relação à amostra testemunha. Esperava-se que, com a camada criada pela aplicação da solução de cera de carnaúba, ocorresse uma diminuição nas trocas gasosas do grão com o ambiente e das reações enzimáticas, reduzindo o endurecimento natural ocorrido nos cotilédones durante o armazenamento.

Pela Figura 26 (a), verifica-se o aumento da firmeza dos grãos *in natura*, expressa pela força máxima sustentada pelos mesmos para uma dada deformação, ao longo do tempo de armazenamento, variando entre 290,57 e 551,45 N. Nos grãos embebidos a temperatura de 40 °C (Figura 26 (b)) observou-se que apesar do comportamento ser o mesmo obtido nos grãos *in natura*, os valores da força máxima reduziram expressivamente.

Com base na Figura 26 (c), foi possível constatar que a submissão dos grãos de feijão ao processo de embebição na temperatura de 50 °C, por um período de 12 h, inibiu possíveis efeitos dos tratamentos e do tempo de armazenamento.

Na Tabela 6 estão apresentados os modelos estatísticos que melhor se ajustaram aos dados da firmeza dos grãos de feijão *in natura* (a), embebidos à temperatura de 40 °C (b), à temperatura de 50 °C (c) e em grãos ao longo do processo de cocção (d).

Tabela 6 - Modelos estimados para a firmeza dos grãos de feijão *in natura* (a), embebidos à temperatura de 40 °C (b), à temperatura de 50 °C (c) e em grãos ao longo do processo de cocção (d) em função do tempo de armazenamento (t) em dias e do tempo de cocção (t_{coz}) em min., com seus respectivos coeficientes de determinação

	Modelos ajustados	R ²
(a)	$\hat{F} = 349,4253^{**} - 1,0025^* t + 0,0074^{**} t^2$	0,7797
(b)	$\hat{F} = 42,7948^{**} - 0,1362^{**} t + 0,005^{**} t^2$	0,3123
(c)	$\hat{F} = 38,2711$	
(d)	$\hat{F} = 78,7014^{**} + 0,0256t - 5,2810^{**} t_{coz} + 0,002t^2 + 0,1025^{**} t_{coz}^2$	0,9260

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

Devido à grande variabilidade dos dados e a ausência de significância estatística entre os mesmos, representou-se a força máxima apenas pelo valor médio dos dados observados (Tabela 6 (c)).

O modelo representado na Tabela 6 (d) ajustou-se aos dados da força máxima durante o processo de cocção, caracterizando uma relação quadrática com o tempo de armazenamento e com o tempo de cocção. O aumento no tempo de cocção causa redução significativa na força. A força mínima observada neste caso foi de 71,85 N no tempo zero de armazenamento e de cocção e de 8,58 N aos 60 dias de armazenamento e tempo de cocção de 30 min. A força máxima foi de 109,32 N observada no tempo de 60 dias e zero min de cocção e de 30,14 N no tempo de 180 dias depois de decorridos 30 min do processo de cocção.

Segundo Couto et al. (2002), no estudo do comportamento mecânico de um material, o módulo proporcional de deformidade é considerado mais significativo que o de elasticidade, visto que, quando um produto é comprimido, a deformação total é que tem aplicação prática. O módulo proporcional de deformidade (EP) não sofreu diferenças significativas entre a testemunha e os tratamentos, aumentando durante o armazenamento (Figura 27).

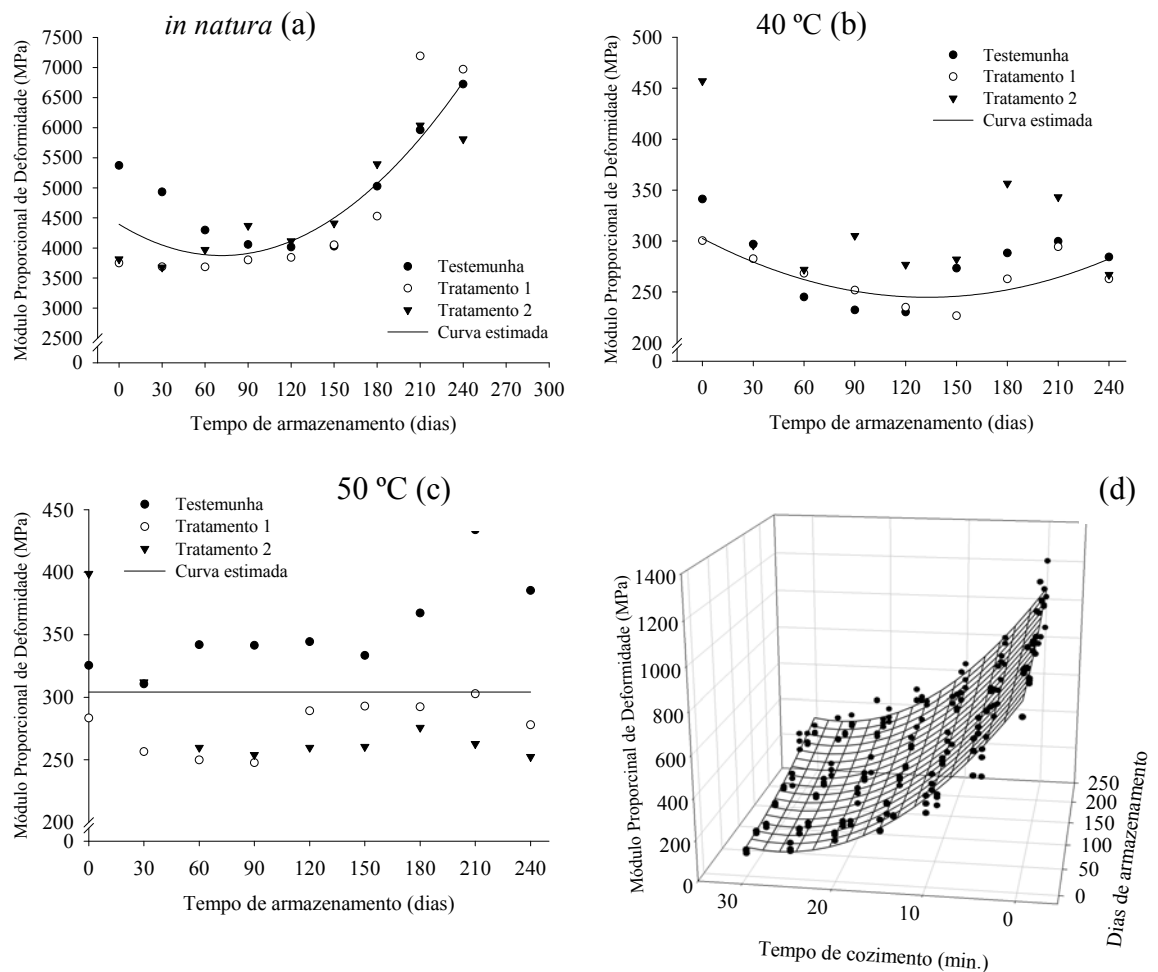


Figura 27 - Valores médios observados e estimados do módulo proporcional de deformidade dos grãos de feijão, não tratados (testemunha) e tratados com solução de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) ao longo do armazenamento.

Pela Figura 27 observou-se que o módulo proporcional de deformidade apresentou um comportamento semelhante ao da força de compressão. Este resultado vai de acordo com as conclusões obtidas no trabalho de Couto et al. (2002) com grãos de café, no qual foi argumentado que quanto maior o módulo proporcional de deformidade, maior a força necessária para promover uma determinada deformação em um produto.

Os valores do módulo proporcional de deformidade diminuíram de forma brusca quando os grãos de feijão foram submetidos ao processo de embebição. Observaram-se ainda valores menores para os grãos que passaram apenas pelo processo de embebição nas temperaturas de 40 e 50 °C (Figura 27 (b) e (c)),

quando comparados com os submetidos ao teste compressão após o processo de cocção no tempo zero (Figura 27 (d)), visto que estes teriam passado apenas pelo processo de embebição à temperatura de 20 °C, o que pode representar uma influência da temperatura de embebição na firmeza dos grãos.

Resende et al. (2007) avaliou o comportamento mecânico de grãos de feijão do grupo vermelho em função do teor de água e com base na equação estimada, encontrou valores de 1383,3 MPa para deformação de 0,002 m e teor de água de 0,1 (b.s.) e 1310,0 MPa para a mesma deformação e teor de água de 0,2 (b.s.).

Observou-se no teste de compressão após a cocção dos grãos de feijão valores mínimos de 817,60 MPa no tempo zero de armazenamento e de cocção e de 9,65 MPa aos 60 dias para o tempo de cocção de 30 min. A força máxima foi de 1212,03 MPa observada no tempo de 60 dias e o min de cocção e de 344,43 MPa no tempo de 180 dias e 30 min de cocção (Figura 27 (d)).

Na Tabela 7 estão apresentados os modelos estatísticos que melhor se ajustaram aos resultados do módulo proporcional de deformidade dos grãos de feijão, tratados e não tratados, *in natura* (a), embebidos à temperatura de 40 °C (b), à temperatura de 50 °C (c) e em grãos ao longo do processo de cocção (d).

Tabela 7 - Modelos estimados para o módulo proporcional de deformidade dos grãos de feijão, tratados e não tratados, *in natura* (a), embebidos à temperatura de 40 °C (b), à temperatura de 50 °C (c) e em grãos ao longo do processo de cocção (d) em função do tempo de armazenamento (t) em dias e do tempo de cocção (t_{coz}) em min, com seus respectivos coeficientes de determinação

	Modelos ajustados	R ²
(a)	$\hat{EP} = 4395,194^{**} - 14,556^{**} t + 0,102^{**} t^2$	0,7697
(b)	$\hat{EP} = 302,586^{**} - 0,871^* t + 0,0033^* t^2$	0,6146
(c)	$\hat{EP} = 304,167$	
(d)	$\hat{EP} = 889,421^{**} + 0,212t - 57,27^{**} t_{coz} + 0,002^* t^2 + 1,079^{**} t_{coz}^2$	0,9258

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

De maneira semelhante ao comportamento da força não foi verificado nos dados do módulo proporcional de deformidade um comportamento característico dos grãos submetidos à embebição à temperatura de 50 °C. Devido a falta de ajuste de um modelo aos dados observados, representou-se o módulo pela média dos valores observados. (Tabela 7 (c)).

Assim como para a força, somente o tempo de armazenamento foi significativo para a energia (ξ) ao nível de 5 % de probabilidade. Os valores médios observados da energia dos grãos submetidos a uma compressão uniaxial na posição natural de repouso estão apresentados na Figura 26.

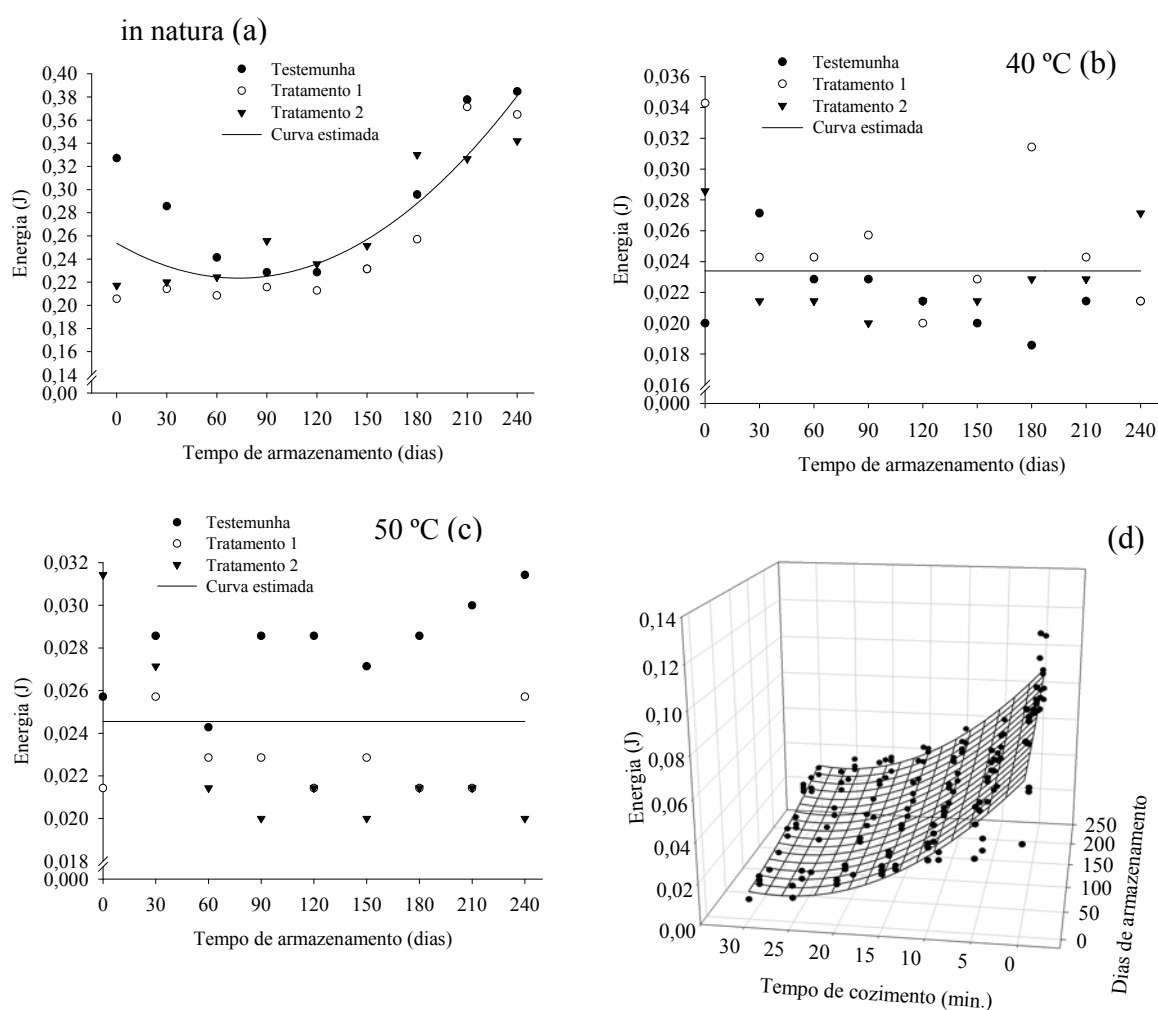


Figura 28 - Valores médios observados e estimados da energia necessária na compressão dos grãos de feijão, não tratados (testemunha) e tratados com solução de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente).

Os valores da energia referentes ao teste de compressão dos grãos de feijão *in natura* apresentaram um comportamento semelhante ao da força e ao do módulo proporcional de deformidade, ou seja, aumentou com o tempo de armazenagem (Figura 28 (a e d)). Entretanto os dados observados nos grãos embebidos em diferentes temperaturas não apresentaram um comportamento característico ao longo do tempo de armazenamento sendo representados, portanto, apenas pelo valor médio dos dados observados (Tabela 8 (b e c)).

Na Tabela 8 estão apresentados os modelos estatísticos que melhor se ajustaram aos resultados de energia dos grãos de feijão, tratados e não tratados, *in natura* (a), embebidos à temperatura de 40 °C (b), à temperatura de 50 °C (c) e em grãos ao longo do processo de cocção (d).

Tabela 8 - Modelos estimados para o módulo de energia dos grãos de feijão, tratados e não tratados, *in natura* (a), embebidos à temperatura de 40 °C (b), à temperatura de 50 °C (c) e em grãos ao longo do processo de cocção (d) em função do tempo de armazenamento (t) em dias e do tempo de cocção (t_{coz}) em min, com seus respectivos coeficientes de determinação

	Modelos ajustados	R ²
(a)	$\hat{\xi} = 0,2536^{**} - 0,0008^* t + 5,647 \times 10^{-6**} t^2$	0,7396
(b)	$\hat{\xi} = 0,0234$	
(c)	$\hat{\xi} = 0,0246$	
(d)	$\hat{\xi} = 0,073^{**} + 1,904 \times 10^{-5} t - 0,005^{**} t_{coz} + 1,916 \times 10^{-7} t^2 + 8,638 \times 10^{-5**} t_{coz}^2$	0,8301

**Significativo a 1% de probabilidade pelo teste t.

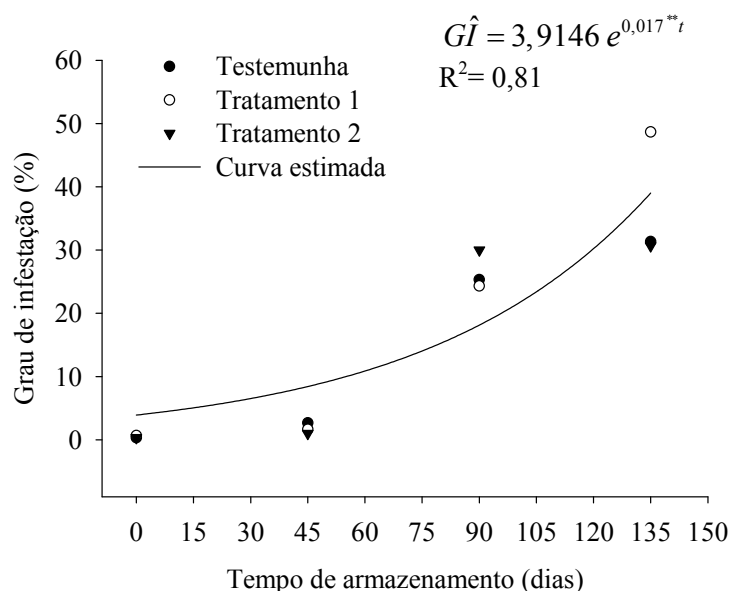
*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste t.

5.3. Armazenamento dos grãos com infestação de insetos

Diante das expressivas perdas de grãos ocasionadas durante o armazenamento pelo ataque dos insetos-pragas, tornou-se necessária a busca de soluções alternativas que controlassem o desenvolvimento e o ataque destes. Pesquisadores como Brito et al. (2006), Coitinho et al. (2006) e Baldin et al.

(2009) encontraram nos inseticidas naturais, como os pós inertes e os óleos essenciais de origem vegetal, formas eficazes de combate.

De maneira semelhante esperava-se que a aplicação da solução de cera nos grãos de feijão formasse uma película que impedisse oviposição em trincas e rachaduras dos grãos pelos insetos-praga *Acanthoscelides obtesctus*, fato este, que diminuiria a taxa de crescimento da população de insetos na massa de grãos, tendendo a eliminar de forma gradativa a infestação pelo inseto-praga. Entretanto, não foi observada interação significativa dos tratamentos no grau de infestação dos grãos de feijão, sendo observada apenas uma interação exponencial com o tempo de armazenamento (Figura 29).



**Significativo a 1 % de probabilidade pelo teste F

Figura 29 - Grau de infestação dos grãos de feijão, não tratados (testemunha) e tratados com solução de cera de carnaúba nas concentrações de 50 e 100 % (tratamentos 1 e 2, respectivamente) ao dos longo do tempo de armazenamento.

6. CONCLUSÕES

De acordo com as discussões dos resultados foi possível concluir que o uso da solução de cera de carnaúba como revestimento dos grãos de feijão não foi eficiente na manutenção da qualidade nem na proteção dos grãos de feijão, de forma específica concluiu-se que:

- A exceção da porosidade, todas as propriedades físicas determinadas apresentaram uma relação linear com o teor de água.
- Houve tendência ao aumento do tempo de cocção dos grãos de feijão ao longo do armazenamento. Entretanto não foi observada nenhuma interação significativa com os tratamentos avaliados.
- Os modelos de Peleg e o de Mitscherlich ajustaram-se de maneira satisfatória aos resultados da embebição dos grãos de feijão para as diferentes condições estudadas.
- Os tratamentos com a solução de cera de carnaúba não ocasionaram diferença estatística nos valores do módulo proporcional de deformidade, ao longo do tempo de armazenamento, quando comparados com a testemunha. O uso da cera, de forma benéfica, não causou nenhuma alteração no comportamento dos índices colorimétricos ao longo do tempo de armazenagem, nem nas características sensoriais do produto.
- A utilização da solução de cera de carnaúba não foi eficiente no controle da infestação pelo inseto-praga *A. obtectus*.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14140: Alimentos e bebidas. Análise Sensorial.** Teste de análise descritiva quantitativa (ADQ). Rio de Janeiro, 1998.

AI MAHASNEH, M.A.; RABABAH, T.M.; Effect of moisture content on some physical properties of green wheat. **Journal of food engineering.** v.79, p.1467-1473, 2007.

ALTUNTAŞ, E.; YILDIZ, M.; Effects of moisture content on some physical and mechanical properties of faba bean (*Vicia faba L.*) grains. **Journal of food engineering.** v.78, p.174-183, 2007.

AMARANTE, C.; BANKS, N.H.; GANESH, S.; Effects of coating concentration, ripening stage, water status and fruit temperature on pear susceptibility discoloration. **Postharvest Biology and Technology,** Wageningen, v.21, p.283-290, 2001.

AMIN, M.N.; HOSSAIN, M.A.; ROY, K.C.; Effects of moisture content on some physical properties of lentil seeds. **Journal of food engineering.** v.65, p.83-87, 2004.

BAKKALI, F.; AVERBECK, S.; AVERBECK, D.; IDAOMAR, M.; Biological effects of essential oils – A review. **Food and Chemical Toxicology,** 2007.

BALDIN, E.L.L.; PRADO, J.P.M.; CHRISTOVAM, R.S.; DAL POGETTO, M.H.F.A.; Uso de pós de origem vegetal no controle de *Acanthoscelides obtectus* Say (coleoptera: *Bruchidae*) em grãos de feijoeiro. **BioAssay,** v. 4, n. 2, 2009.

BASSINELLO, P.Z.; Pós-produção: qualidade dos grãos. Brasília, **Embrapa Arroz e Feijão,** 2007. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_2_28102004161635.html>. Acesso em: 12 jan. 2010.

BASSINELLO, P.Z.; **Qualidade dos grãos.** Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia4/AG01/arvore/AG01_2_28102004161635.html>. dez./ 2005. Acesso em: 23 maio 2011.

BATISTA, C.S.; COUTO, S.M.; CECON, P.R.; PEIXOTO, A.B.; Efeito da temperatura do ar de secagem, do teor de umidade e do estágio de maturação no

módulo de deformidade de frutos de café (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Especial café, n.6, p. 42-53, 2003.

BELLO, M.; TOLABA, M.P.; SUAREZ, C.; Factors affecting water uptake of rice grain during soaking. **Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie**, v.37, p.811-816, 2004.

BERTOLDO, J.G.; COIMBRA, J.L.M.; TAVARES, H.E.; HEMP, S.; VOGT, G.A.; STAHELIN, D.; Adaptabilidade e estabilidade fenotípica para o caráter tempo de cocção do feijão preto. **Revista Ceres**, v.56, n.3, p.315-321, 2009.

BOTELHO, F.M.; **Absorção de água por grãos de milho com diferentes níveis de danificação mecânica**. 2009. 81 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

BOTELHO, F.M.; CORRÊA P.C.; GONELI, A.L.D.; MARTINS, M.A.; BAPTESTINI, F.M.; Análise da hidratação do arroz na parboilização. **Ciência Tecnologia de Alimentos** [online]. v.30, n.3, p.713-718, 2010.

BRAGANTINI, C.; **Alguns aspectos do armazenamento de sementes e grãos de feijão**. Documento 187/ Embrapa Arroz e Feijão. Santo Antônio de Goiás, 28 p., 2005.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa Nº 1, de 10 de setembro de 2002**. Brasília, DF, Disponível em: <http://homologa.ambiente.sp.gov.br/prozoesp/docs/instrucaonormativa01.pdf>. Acesso em: 27 jun. 2011

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, DF, 395 p., 2009.

BRACKMANN, A., NEUWALD, D.A., RIBEIRO, N.D., FREITAS, S.T.; Conservação de três genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo em armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, v.32, n.6, 2002.

BRITO, J.P.; OLIBEIRA, J.E.M.; DE BORTOLI, S.A.; Toxicidade de óleos essenciais de *Eucalyptus* spp. sobre *Callosobruchus maculatus* (Fabr., 1775) (Coleoptera: Bruchidae) **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, vol.6, n.1, ISSN 1519-5228. 2006.

BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W.; **Drying and storage of grains and oilseeds**. New York: Van Nostrand Reinhold, p.450,1992.

CARBONELL, S.A.M.; ITO, M.F.; AZEVEDO FILHO, J.A.; SARTORI, J.A.; Cultivares comerciais de feijoeiro para o Estado de São Paulo: Características e melhoramento. **Documentos IAC**, Capão Bonito. Campinas: Instituto Agrônômico, v.71, p.5-27, 2003.

CARNAÚBA DO BRASIL. **Extração de cera**. Disponível em: <http://www.carnaubadobrasil.com/1/pt/extracao.asp>. Acesso em: 21 mar. 2011.

CERNÍŠEV, S.; Effects of conventional and multistage drying processing on non-enzymatic browning in tomato. **Journal of Food Engineering**. v.96, n.1, p.114-118, Jan., 2010.

CHIUMARELLI M.; FERREIRA, M.D.; Qualidade pós-colheita de tomates 'Débora' com utilização de diferentes coberturas comestíveis e temperaturas de armazenamento. **Horticultura Brasileira**. v.24, n.3, Brasília, Jul./Set., 2006.

CIF- CENTRO DE INTELIGÊNCIA DO FEIJÃO. **O feijão no Brasil e em Minas Gerais**. Disponível em: <http://www.cifeijao.com.br/index.php?p=historico> Acesso em: 16 mar. 2010

COELHO, C. M. M.; SOUZA, C.A.; DANELLI, A.L.D.; PEREIRA, T.; SANTOS, J.C.P.; PIAZZOLI, D.; Capacidade de cocção de grãos de feijão em função do genótipo e da temperatura da água de hidratação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1080-1086, 2008.

COELHO, S.R.M., PRUDENCIO, S.H., NÓBREGA, L.H.P., LEITE, C.F.R.; Alterações no tempo de cozimento e textura dos grãos de feijão comum durante o armazenamento. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.2, p.539-544, mar./abr., 2009.

COITINHO, R.L.B.C.; OLIVEIRA, J.V.; GONDIM JUNIOR, M.G.C., CÂMARA, C.A.G.; Efeito residual de inseticidas naturais no controle de *Sitophilus zeamais* mots. em milho armazenado. **Revista Caatinga**, Mossoró,v.19, n.2, p.183-191, abril/junho, 2006.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira. Abril, 2011**. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_04_07_11_02_42_boletim_abril-2011.pdf. Acesso em 19 abril, 2011.

CORRÊA P.C.; RESENDE O.; MARTINAZZO A.P.; GONELI A.L.D.; BOTELHO F.M.; Modelagem matemática para a descrição do processo de secagem do feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) em camadas delgadas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.501-510, maio/ago. 2007.

COŞKUNER, Y.; KARABABA, E.; Some physical properties of flaxseed (*Linum usitatissimum L.*) . **Journal of food engineering**. v.78, p.1067-1073, 2007.

COSTA, G.R.; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A.F.B.; Variabilidade para a absorção de água nos grãos de feijão do germoplasma da UFLA. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.25, n.4, p.1017-1021, 2001.

COUTO, S.M.; BATISTA, C.S.; PEIXOTO, A.B.; DEVILLA, I.A.; Comportamento mecânico de frutos de café: módulo de deformidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 285 – 294, 2002.

CUNNINGHAM, S.E.; MCMINN, W.A.M.; RICHARDSON, P.S.; Modelling water absorption of pasta during soaking. **Journal of Food Engineering**, v.82, p.600-607, 2007.

D'AQUINO S.; SCHIRRA M.; MOLINU M.G.; PALMA, A.M.T.; Preharvest aminoethoxyvinylglycine treatments reduce internal browning and prolong the shelf-life of early ripening pears. **Scientia Horticulturae**, v.125 p.353–360, 2010.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do Feijoeiro comum: Características da cultura**. Jan/2003. Disponível em:<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm>. Acesso em: 16 mar. 2011 a.

EMBRAPA- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Cultivo do Feijoeiro comum: colheita e pós-colheita**. Jan/2003. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/colheita.htm>. Acesso em: 16 mar. 2011 b.

ESTEVES, A.M.; ABREU, C. M.P. de; SANTOS, C.D.; CORRÊA, A.D.; Comparação química e enzimática de seis linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 26, n. 5, p. 999-1005, set./out. 2002.

FAKHOURI, F.M.; GROSSO, C. Efeito de coberturas comestíveis na vida útil de goiabas in natura (*Psidium guajava* L.) mantidas sob refrigeração. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.6, n.2, p.203-211, 2003.

FAO – FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT Database 2008**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 12 jan. 2010.

FREITAS, R.S.; **Qualidade de grãos de feijão armazenados sob atmosfera modificada**. 2009. 55 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2009.

GALLO, D.; NAKANO, O.; NETO, S.S.; CARVALHO, R.P.L.; BATISTA, G.C.; BERTI, E.F.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIN, J.D. **Manual de entomologia agrícola**. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 649p., 1988.

GALLO, D.; NAKANO, O.; SILVEIRA NETO, S.; CARVALHO, R.P.L.; BAPTISTA, G.C.; BERTI FILHO, E.; PARRA, J.R.P.; ZUCCHI, R.A.; ALVES, S.B.; VENDRAMIM, J.D.; MARCHINI, L.C.; COMOTO J.R.S.L.; **Entomologia agrícola**. Piracicaba, FEALQ, 920p., 2002.

GARCIA, E.; FILISETTI, T.M.C.C.; UDAETA, J.E.M.; LAJOLO, F.M.; Hard-to-cook beans (*Phaseolus vulgaris*): Involvement of phenolic compounds and pectates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v.46, n.6, p.2110-2116, 1998.

GUEVARA, L.L.V.; **Avaliação sensorial e inativação de lipoxigenase em feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) armazenados em condições ambientais**. 1990. 132p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1990.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Elaborado na Embrapa Arroz e Feijão por Osmira Fátima da Silva - Analista em Socioeconomia, dez. 2009 Disponível em: <http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/docs/feijao/feijaobrasil.htm> Acesso em: 23 maio 2011.

JIDEANI, V.A.; MPOTOKWANA S.M.; Modeling of water absorption of Botswana bambara varieties using Peleg's equation. **Journal of Food Engineering**, v.92, p. 182–188, 2009

JACOMINO A.P.; OJEDA R.M.; KLUGE R.A.; SCARPARE FILHO J.A. Conservação de goiabas tratadas com emulsões de cera de carnaúba. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal - SP, v.25, n.3, p.401-405, 2003.

LEMOS, L.B.; OLIVEIRA, R.S.; PALOMINO, E.C.; SILVA, T.R.B.; Características agronômicas e tecnológicas de genótipos de feijão do grupo comercial Carioca. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v.39, n.4, p.319-326, abr. 2004.

LIU, K.; Cellular, biological, and physicochemical basis for the hard-to-cook defect in legume seeds. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.35, n.4, p.263–298, 1995.

LORINI, I; MORÁS, A.; BECKEL H.; Pós inertes no controle das principais pragas de grãos armazenados. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento da EMBRAPA**, v.8, p.1-35, 2002.

LORINI, I.; **Eficiência no expurgo**. Cultivar Grandes Culturas [online]. p.16-18. Jul. 2000. Disponível em: http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/cultivar17_expurgo.pdf. Acesso em: 23 maio 2011.

LUH, B.S.; PHIITHAKPOL, B.; 1972. Characteristics of polyphenoloxidase related to browning in cling peaches. In: BRACKMANN, A.; NEUWALD, D.A.; RIBEIRO, N.D.; FREITAS, S.T.; Conservação de três genótipos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) do grupo em armazenamento refrigerado e em atmosfera controlada. **Ciência Rural**, v.32, n.6, 2002.

KARABABA, E.; Physical properties of popcorn kernels. **Journal of food engineering**. v.72, p.100-107, 2006.

MACHADO, C.M.; FERRUZZI M.G.; NIELSEN, S.S; Impact of the hard-to-cook phenomenon on phenolic antioxidants in dry beans (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington DC, v.56, n.9, p.3102- 3110, 2008.

MALGARIM, M.B.; CANTILLANO, R.F.F.; TREPTOW, R.O.; FERRI, V.C.; Concentrações de cera de carnaúba na qualidade de pêssegos cv.“Esmeralda” armazenados sob refrigeração. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v.29, n.4, p.469-473, 2007

MAZZONETTO F.; VENDRAMIM J.D.; Efeito de pós de origem vegetal sobre *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae) em feijão armazenado. **Neotropical Entomology**. Piracicaba, v.32, n.1, p.145-149, 2003.

MESQUITA, F.R.; CORRÊA, A.D.; ABREU, C. M.; LIMA, R. A. Z.; ABREU, A. F. B. Linhagens de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.): Composição Química e digestibilidade protéica. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v.31, n.4, p.1114-1121, jul./ago., 2007.

MITSCHERLICH, E.A.; 1909. The law of the minimum and the law of diminishing soil productivity. In: HARMSEN, K.; A modified Mitscherlich equation for rainfed crop production in semi-arid areas: 1. Theory. **Netherlands Journal of Agricultural Science**. v.48, 2000.

MOHSENIN, N.N.; **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach, 841 p., 1986.

PELEG, M.; An empirical model for the description of moisture sorption curves. **Journal of Food Science**, v. 52, p. 1216-1217 e 1219, 1988.

PEMONGE, J.; VILLALOBOS, M.J.; ROGER, C.R.; Effects of material and extracts of *Trigonella foenum-graecum* L. against the stored product pests *Tribolium castaneum* (Herbst) (Coleoptera; Tenebrionidae) and *Acanthoscelides obtectus* (Say) (Coleoptera: Bruchidae). **Journal Stored Products Research**, v.33, n.3, p.209-217, 1997.

PEREIRA, A.M.; FARONI, L.R.D.A.; SOUSA, A.H.; URRUCHI, W.I.; PAES, J.L.; Influência da temperatura da massa de grãos sobre a toxicidade do ozônio a *Tribolium castaneum*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.12, p.493-497, 2008 a.

PEREIRA, A.C.R.L.; OLIVEIRA, J.V.; GONDIM JUNIOR, M.G.C.; CÂMARA, C.A.G.; Atividade inseticida de óleos essenciais e fixos sobre *Callosobruchus maculatus* (FABR., 1775) (Coleoptera: Bruchidae) em grãos de caupi [*Vigna unguiculata* (L.) WALP.]. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.3, p.717-724, mai./jun., 2008 b.

PINELI, L.L.O.; MORETI, C.L.; ALMEIDA, G.C.; NASCIMENTO, A.B.G.; ONUKI, A.C.A.; Associação de atmosfera modificada e antioxidantes reduz o escurecimento de batatas ‘Ágata’ minimamente processadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.4, p.993-999, out./dez., 2005.

POPINIGIS, F.; Preservação da qualidade fisiológica durante o armazenamento. **Anais II Seminário nacional armazenagem**. Vol. II, Brasília. p.150-171, 1977.

RATKOWSKY, D.A.; **Handbook of nonlinear regression models**. Washington State University, Pullman, Washington, v.107, 241p., 1989.

RESENDE, O; **Variação das propriedades físicas e mecânicas e da qualidade do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) durante a secagem e o armazenamento**. 2006. 176p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

RESENDE, O.; CORRÊA P.C.; Modelagem matemática do processo de hidratação de sementes de Feijão. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 29, n. 3, p. 373-378, 2007.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; RIBEIRO, D.M.; FIGUEIREDO NETO, A.; Comportamento mecânico dos grãos de feijão submetidos a compressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.4, p.404-409, 2007.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; FARONI, L.R.A.; CECON, P.R.; Avaliação da qualidade tecnológica do feijão durante o armazenamento. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.2, p.517-524, mar./abr., 2008 a.

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C.; GONELI, A. L. D.; RIBEIRO, D. M.. Propriedades físicas do feijão durante a secagem: determinação e modelagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.32, n.1, p.225-230, jan./fev., 2008.

RESIO, A.C.; AGUERRE, R.J.; SUAREZ, C.; Hydration kinetics of amaranth grain. **Journal of Food Engineering**. v.72, p.247-253, 2006.

RIBEIRO, D.M.; CORRÊA, P.C.; FURTADO, B.F.; GONELI, A.L.D.; RESENDE, O.; Propriedades mecânicas dos grãos de soja em função do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.493-500, maio/ago. 2007.

RIBEIRO, L.P., COSTA, E.C., KARLEC, F., BIDINOTO, V.M. Avaliação da eficácia de pós inertes minerais no controle de *Sitophilus zeamais* mots. (coleoptera: curculionidae). **Revista da FZVA**, v. 15,n.2, 2008.

RIGUEIRA, R.J.A.; LACERDA FILHO A.F.; VOLK, M.B.S.; Avaliação da qualidade do feijão armazenado em ambiente refrigerado. Alimentos e nutrição. Araraquara, v.20, n.4, p.649-655, out./dez., 2009.

RIOS, A.O.; ABREU, C.M.P.; CORRÊA, A.D.; Efeitos da época de colheita e do tempo de armazenamento no escurecimento do tegumento do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.26, n.3, p.550-558, mai./jun., 2002.

RODRIGUES, J.A.; RIBEIRO, N.D.; LONDERO, P.M.G.; CARGNELUTTI FILHO, A.; GARCIA, D.C.; Correlação entre absorção de água e tempo de cozimento de cultivares de feijão. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.1, p.209-214, jan-fev, 2005.

RON, A.M.; MAQUET, A.; BAUDOIN, J.P.; Editorial:improvement of sustainable *Phaseolus* production in Europe for human consumption – PHASELIEU. **Biotechnological Agronomic Society Environmental**, Pontevedra, v.3, n.4, p.195-196, 1999.

SARICOBAN, C.; YILMAZ, M.T.; Modelling the effects of processing factors on the changes in colour parameters of cooked meatballs using response surface methodology. **World Applied Sciences Journal**. v.9, n.1, p.14-22, 2010.

SARTORI, M.R.; Armazenamento. In: ARAUJO, R.S.; AGUSTÍN RAVA, C.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J. de O.; **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, p.543-562, 1996.

SEAGRI – SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO. **Carnaúba**. 2010. Disponível em: <http://www.seagri.ce.gov.br/carnauba.htm> Acesso em: 01 fev. 2011.

TURHAN, M.; SAYAR, S.; GUNASEKARAN, S.; Application of Peleg model to study water absorption in chickpea during soaking. **Journal of Food Engineering**, v. 53, p. 153-159, 2002.

vLex UNITED STATES. 21 CFR - **Code of Federal Regulations - Title 21: Food and Drugs Read**. 2005. disponível em: <http://cfr.vlex.com/source/code-federal-regulations-food-drus-1070#ixzz1NCSA2fFh>. Acesso em: 23 maio 2011.

ZHENG X., TIAN S. Effect of oxalic acid on control of postharvest browning of litchi fruit. **Food Chemistry**, v.96, p.519–523, 2006.

ZHU D. , JI B.; LAN EUM H.; ZUDE M.; Evaluation of the non-enzymatic browning in thermally processed apple juice by front-face fluorescence spectroscopy. **Food Chemistry**, v.113, p.272–279, 2009.