

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

EFEITO DA UMIDADE, TRATAMENTO TÉRMICO E PRESENÇA DE
AR AMBIENTE NO FENÔMENO DE ENDURECIMENTO DE FEIJÕES
(*Phaseolus vulgaris* L.) ARMAZENADOS

POR

MARINA HARBOE [AZEVEDO 25

banca

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por Marina Harboe Azevedo e aprovada pela Comissão Examinadora em 05 de abril de 1994.
Campinas, 16 de setembro de 1994.

Orientador:

Prof. Dr. JOSÉ TADEU [JORGE t


Presidente da Banca

Dissertação apresentada como cumprimento parcial dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

Área de concentração: Pré-Processamento de Produtos Agropecuários.

Campinas - SP

Abril - 1994



Ao meu pai,

Erik ("in memorian")

*Pelos caminhos do coração
envolta num silêncio
profundo
me aproximo de você
compartilhando
do meu ser, do seu ser,
do nosso ser
Com amor*

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. José Tadeu Jorge pela orientação segura, confiança, apoio e paciência, durante todo o curso de mestrado.

Ao Prof. Dr. Sylvio Luís Honório pela colaboração na tradução do resumo para o inglês.

Ao Departamento de Pré - Processamento de Produtos Agropecuários pela disponibilidade de suas instalações e equipamentos, ao corpo docente pela colaboração e apoio, e às secretárias Vânia Aparecida Bellodi S. Furlan e Rosângela Gomes pelo auxílio constante e amizade.

Ao Departamento de Máquinas Agrícolas pela disponibilidade de suas instalações e equipamentos e ao Laboratório de Protótipos, pela construção dos aparelhos "Penetrômetros de Mattson" utilizados nos testes de cozinhabilidade.

A João Evaristo Bérqamo pela realização do desenho mecânico do aparelho "Penetrômetro de Mattson".

Aos técnicos Dagoberto Favoretto Júnior, Rosália da Silva Favoretto e Francisco Ferreira Júnior, pelo auxílio competente na montagem do experimento, determinações de laboratório e amizade.

Ao colega Ednaldo Carvalho Guimarães pela colaboração na análise estatística.

Ao colega Gilberto Alonso Murcia Contreras pelo auxílio nos ajustes e impressão deste trabalho.

Ao amigo Miguelito pela revisão do texto e sugestões bastante oportunas.

À Universidade Estadual de Campinas e ao Conselho Nacional de Pesquisa, pelo apoio financeiro.

A todos que, de alguma maneira, tornaram possível a realização desse trabalho.

E ao Marcus, meu marido e companheiro, a minha maior gratidão pelo inestimável auxílio, paciência, apoio e amor dedicados.

SUMÁRIO

	Página
PÁGINA DE ROSTO	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
SUMÁRIO	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xi
RESUMO	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1. Preparo do Feijão para consumo	5
2.2. Qualidade de Textura	6
2.2.1. "Hardshell"	6
2.2.2. "Hard-to-Cook"	7
2.3. Métodos Objetivos de Determinação da Textura .	8
2.4. Fatores que Afetam a Textura do Feijão durante a Armazenagem	13
2.4.1. Temperatura Ambiental	13
2.4.2. Conteúdo de Umidade	15

2.4.3. Tempo de Armazenagem	21
2.4.4. Tratamento Térmico	21
2.4.5. Aeração	25
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Matéria Prima	28
3.2. Caracterização Inicial do Produto	29
3.2.1. Umidade	29
3.2.2. Peso Específico Aparente	29
3.2.3. Peso Específico Real	30
3.2.4. Porosidade	31
3.3. Montagem do Experimento	31
3.4. Tratamentos Térmicos	32
3.4.1. Vapor	32
3.4.2. Autoclave	33
3.4.3. Testemunha	33
3.5. Armazenamento dos Grãos	33
3.6. Aeração	36
3.7. Amostragem	36
3.8. Avaliação da Qualidade de Textura	37
3.8.1. Teste de Determinação da Cozinhabilidade	37
3.8.2. Teste de Determinação da Resistência à Compressão	38
3.9. Delineamento estatístico	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1. Introdução	46
4.1.1. Classificação e Caracterização inicial dos grãos	46
4.1.2. Condições ambientais durante o armazenamento	46

4.1.3. Variação da umidade dos grãos	49
4.2. Testes de Cozinhabilidade	49
4.3. Testes de Compressão	69
4.4. Relação entre a avaliação de textura dos grãos crus e cozidos	79
5. CONCLUSÕES	82
6. ANEXOS	84
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
8. ABSTRACT	93

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 01 - Sistema de armazenamento de feijões em vidros herméticos, sob condições ambientais continuamente registradas por termohigrógrafo	34
FIGURA 02 - "Penetrômetro de Mattson" modificado, construído na FEAGRI - UNICAMP	39
FIGURA 03 - Máquina universal de testes - O.T.M.S. (direita), Amplificador eletrônico de sinais - DAYTRONIC 9010 e Registrador - RIKEN DENSHI (esquerda), utilizados nos testes de resistência à compressão	41
FIGURA 04 - Detalhe do teste de resistência à compressão, com o grão posicionado para ser comprimido entre as superfícies planas do equipamento - O.T.M.S.	42
FIGURA 05 - Temperaturas média, mínima, máxima e umidade relativa média do ambiente natural de armazenamento (médias de cada dez dias) em Campinas - S.P., durante o ano de 1990.	48

FIGURA 06 - Variação do teor de umidade dos grãos de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>), variedade Carioca, armazenados em vidros a 7% de umidade com aeração	50
FIGURA 07 - Variação do teor de umidade dos grãos de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>), variedade Carioca, armazenados em vidros a 7% de umidade sem aeração	50
FIGURA 08 - Variação do teor de umidade dos grãos de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>), variedade Carioca, armazenados em vidros a 10% de umidade com aeração	51
FIGURA 09 - Variação do teor de umidade dos grãos de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>), variedade Carioca, armazenados em vidros a 10% de umidade sem aeração	51
FIGURA 10 - Variação do teor de umidade dos grãos de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>), variedade Carioca, armazenados em vidros a 13% de umidade com aeração	52
FIGURA 11 - Variação do teor de umidade dos grãos de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>), variedade Carioca, armazenados em vidros a 13% de umidade sem aeração	52
FIGURA 12 - Efeito do tempo e da umidade de armazenamento dos feijões (<i>Phaseolus vulgaris</i>) tratados com vapor e armazenados durante oito meses com aplicação de aeração	65
FIGURA 13 - Efeito do tempo e da umidade de armazenamento dos feijões (<i>Phaseolus vulgaris</i>) tratados com vapor e armazenados durante oito meses sem aplicação de aeração	65

FIGURA 14 - Efeito do tempo e da umidade de armazenamento dos feijões (<i>Phaseolus vulgaris</i>) tratados com autoclave e armazenados durante oito meses com aplicação de aeração	66
FIGURA 15 - Efeito do tempo e da umidade de armazenamento dos feijões (<i>Phaseolus vulgaris</i>) tratados com autoclave e armazenados durante oito meses sem aplicação de aeração	66
FIGURA 16 - Efeito do tempo e da umidade de armazenamento dos feijões (<i>Phaseolus vulgaris</i>) não tratados e armazenados durante oito meses com aplicação de aeração	67
FIGURA 17 - Efeito do tempo e da umidade de armazenamento dos feijões (<i>Phaseolus vulgaris</i>) não tratados e armazenados durante oito meses sem aplicação de aeração	67

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 01 - Caracterização inicial dos grãos de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) através das determinações físicas de umidade, peso específico aparente, peso específico real e porosidade	47
TABELA 02 - Valores médios de tempo de cocção (minutos) dos grãos de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>) armazenados nas diferentes combinações dos tratamentos estudados	53
TABELA 03 - Análise de variância relativa ao efeito da umidade, tratamento térmico, tempo de armazenamento e aeração sobre o tempo de cocção de feijão (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	54
TABELA 04 - Comparação de médias de tempo de cocção realizada pelo teste de Tukey para cada tratamento térmico dentro de cada nível de umidade	56
TABELA 05 - Comparação de médias de tempo de cocção realizada pelo teste de Tukey para cada tratamento térmico no decorrer do período de armazenagem	58

TABELA 06 - Comparação de médias de tempo de cocção realizada pelo teste de Tukey para cada nível de umidade no decorrer do período de armazenagem	61
TABELA 07 - Comparação de médias de tempo de cocção realizada pelo teste de Tukey para cada nível de umidade nas condições de aeração e não aeração	68
TABELA 08 - Comparação de médias de tempo de cocção realizada pelo teste de Tukey para as condições de aeração e não aeração no decorrer do período de armazenagem	69
TABELA 09 - Valores médios de deformação gráfica (mm) (não transformada) obtidos nos testes de compressão dos grãos de feijão "in natura", armazenados nas diferentes combinações de tratamentos estudadas	70
TABELA 10 - Análise de variância relativa ao efeito da umidade, tratamento térmico, tempo de armazenamento e aeração sobre a deformação gráfica (não transformada) dos testes de compressão de feijão (<u>Phaseolus vulgaris</u>) "in natura"	72
TABELA 11 - Comparação de médias de deformação gráfica (não transformada) dos testes de compressão, realizada pelo teste de Tukey para cada tratamento térmico dentro de cada nível de umidade	73
TABELA 12 - Comparação de médias de deformação gráfica (não transformada) dos testes de compressão, realizada pelo teste de Tukey para cada tratamento térmico nas condições de aeração e não aeração.	75

TABELA 13 - Comparação de médias de deformação gráfica (não transformada) dos testes de compressão, realizada pelo teste de Tukey para cada nível de umidade nas condições de aeração e não aeração. 76

TABELA 14 - Comparação de médias de deformação gráfica (não transformada) dos testes de compressão, realizada pelo teste de Tukey para cada nível de umidade no decorrer do período de armazenagem. 78

RESUMO

Verificou-se, neste trabalho, a influência de tratamentos térmicos, grau de umidade e presença de ar ambiente, no fenômeno de endurecimento dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) armazenados, visando identificar as condições de armazenagem que minimizem a perda de qualidade de textura do produto. Os grãos foram submetidos a dois tratamentos térmicos (Vapor a 98°C por 10 minutos e Autoclave a 121°C por 2 minutos) e em seguida armazenados em vidros herméticos com 7, 10 e 13% de umidade, por um período de oito meses à temperatura ambiente (15 a 27°C), sob duas condições: aeração quinzenal e sem aeração. A cada dois meses foi avaliada a qualidade de textura dos feijões, aqui representada pela cozinhabilidade dos grãos detectada através do "Penetrômetro de Mattson" e pela resistência à compressão dos grãos "in natura". A qualidade de textura dos grãos cozidos foi melhor preservada quando armazenados com níveis de umidade de 7 ou 10%, sem aplicação de tratamento térmico e independente da presença ou não de ar ambiente. Os resultados

demonstraram que os tratamentos térmicos vapor e autoclave foram prejudiciais à cozinhabilidade do feijão. O tempo de armazenamento exerceu uma influência diretamente proporcional ao endurecimento do produto, com relação a todos os outros fatores analisados. Constatou-se que, na faixa de umidade investigada, a textura dos feijões "in natura" é influenciada pelo seu teor de umidade, de modo que a conteúdos de umidade mais altos correspondem grãos de menor dureza. Observou-se, também, que amostras de feijão não podem ser diferenciadas, quanto a sua cozinhabilidade, através da textura dos grãos "in natura".

1. INTRODUÇÃO

O feijão (Phaseolus vulgaris) tem sido um dos alimentos mais tradicionais da cozinha brasileira, e sua importância na alimentação humana deve-se principalmente às quantidades apreciáveis de proteína que este produto fornece. Além de seu alto teor protéico, esta leguminosa tem sido uma fonte razoavelmente boa de ferro, tiamina e cálcio. Em vista do seu papel na tradição alimentar, o consumo de feijão tem ocorrido pelo menos uma vez por dia em todas as classes da população brasileira de forma geral. No entanto, o rápido crescimento da população no país associado com o reduzido crescimento da produção de feijão, tem significado um decréscimo na disponibilidade per capita (SGARBIERI, GARRUTI, 1986).

As implicações nutricionais de uma baixa disponibilidade destes grãos leguminosos são evidentes, pois de acordo com os autores citados, feijões contribuem com um

terço da proteína e mais de um décimo do consumo de calorias na dieta brasileira.

A oferta deste grão aos consumidores flutua, com relativo excesso de oferta na safra e escassez na entre-safra, gerando algumas crises no abastecimento deste produto (DURIGAN, 1979). Há também uma grande flutuação de preços no mercado que são excessivamente altos na entre-safra se comparados com os preços reduzidos por ocasião da colheita (SÃO JOSÉ et al, 1986).

A solução para regularizar o processo de comercialização e abastecimento de feijão, como também para comportar desejáveis incrementos na produção, é a formação de estoques reguladores deste produto. A formação destes estoques, no entanto, esbarram em alguns problemas técnicos relativos à perda de qualidade de textura, devido ao fenômeno de endurecimento dos grãos durante a armazenagem (DURIGAN, 1979).

A população consumidora tem uma resistência em adquirir feijão velho, uma vez que feijões endurecidos requerem um maior tempo de cozimento e portanto consomem maior quantidade de energia durante seu preparo (AGUILERA, STANLEY, 1985). O fenômeno de endurecimento de sementes e grãos de feijão armazenados constitui-se também um problema para os produtores, pois em consequência disso, as sementes

apresentam baixo índice de germinação e os grãos têm seu valor comercial comprometido (BOURNE, 1967). Assim sendo, torna-se necessário o estudo de condições de armazenagem que viabilizem a formação de estoques de feijão com qualidade de textura aceitável.

Com o objetivo de identificar as condições de armazenagem que minimizem a perda de qualidade de textura do feijão, verificou-se neste trabalho, a influência de tratamentos térmicos, conteúdos de umidade dos grãos e presença de ar ambiente, bem como a interação destes fatores, no fenômeno de endurecimento dos grãos de feijão armazenados durante um período de oito meses.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Estudos arqueológicos e radioativos de carbono (C), indicam que *Phaseolus vulgaris* originou-se na região que vai do Norte da América do Sul até o Sul dos E.U.A., principalmente na região da cultura Inca, por volta de sete mil anos atrás (Kaplan), citado por SGARBIERI, GARRUTI (1986).

O feijão representa a principal fonte de proteínas além de ser o terceiro fornecedor de calorias na alimentação brasileira. Em diferentes cultivares, o conteúdo de proteína pode variar de 18 a 35%, estando comumente entre 23 a 26% em base seca. O conteúdo de gordura é baixo (1 a 3%) e o de carboidrato, representado principalmente pelo amido, varia de 60 a 65% (SGARBIERI, GARRUTI, 1986).

2.1. Preparo do Feijão para consumo

O preparo do feijão para consumo na alimentação humana inclui maceração em água seguido de cocção em água sob pressão atmosférica ou elevada. No Brasil, os grãos de feijão são normalmente macerados em água de torneira por um período que varia de 8 a 16 horas. Em seguida, esta água é descartada e os grãos são cozidos em panela aberta ou em panela de pressão com uma certa quantidade de água (CUNHA, 1992).

A maceração é recomendada por muitos pesquisadores por não induzir qualquer perda de nutrientes (AYKROYD, DOUGHTY, 1964), além de possibilitar a eliminação de substâncias tóxicas antinutricionais com a água utilizada e causar um certo amolecimento dos grãos (NORDSTRON, SISTRUNK, 1977).

O cozimento é a fase mais importante do preparo do feijão pois, além de eliminar os fatores antinutricionais contidos nos feijões crus (AGUILERA, STANLEY, 1985), assegura ao produto as características de textura, coloração, sabor e aroma tão desejáveis por parte do consumidor (ADAMS, BEDFORD, 1972).

2.2. Qualidade de Textura

Um dos principais parâmetros de qualidade do feijão é sua facilidade de cocção, denominada cozinhabilidade (GARCIA, BRESSANI, 1985), que se refere à condição na qual os grãos atingem um grau de maciez aceitável para o consumidor durante o cozimento (GARRUTI, BOURNE, 1985).

A cozinhabilidade dos grãos de feijão é prejudicada pelos defeitos texturais induzidos pelo armazenamento, comprometendo o valor comercial e nutritivo do produto. Os defeitos texturais em feijões se caracterizam pela resistência dos grãos em amaciar suficientemente durante o processo normal de cozimento e, mais especificamente, pela resistência ou falha do cotilédone em se separar durante o cozimento (JONES, BOULTER, 1983).

Os defeitos texturais de leguminosas podem ser classificados em dois tipos: "Hardshell" e "Hard-to-Cook"

2.2.1. "Hardshell"

Os grãos não absorvem água suficiente dentro de um período razoável de maceração, devido à impermeabilidade do tegumento à água (STANLEY, AGUILERA, 1985).

Gloyer, citado por BOURNE (1967), mostrou que "*hardshell*" em feijões secos é uma condição física produzida pela armazenagem de feijões secos em ambiente aquecido com baixa umidade relativa e que a característica "*hardshell*" pode ser superada pela imersão das sementes em água fervente ou expondo-as à fluxo de vapor por um curto período de tempo.

2.2.2. "Hard-to-Cook"

Os grãos absorvem água durante a maceração mas não se tornam suficientemente macios após um razoável tempo de cocção. Leguminosas armazenadas a altas temperaturas e altas umidades relativas por períodos extensos desenvolvem o defeito "*Hard-to-cook*". O mecanismo difere significativamente de "*hardshell*", sendo primeiramente químico mais do que físico por natureza (STANLEY, AGUILERA, 1985).

2.3. Métodos Objetivos de Determinação da Textura

Os métodos objetivos de determinação da textura permitem uma avaliação quantitativa dos defeitos texturais de produtos alimentícios.

Duas metodologias têm sido empregadas para a determinação da cozinhabilidade de leguminosas:

- O tempo de cocção necessário para se atingir um dado nível de maciez dos grãos ("Penetrômetro de Mattson").
- A avaliação da dureza dos grãos, após um tempo padrão de cocção, através da força detectada pelos meios instrumentais (maioria dos métodos).

Ambas as técnicas são eficazes para avaliar a textura de leguminosas cozidas, se aplicadas adequadamente (STANLEY, AGUILERA, 1985).

O "Penetrômetro de Mattson" foi desenvolvido para se estimar a cozinhabilidade de leguminosas medindo o tempo necessário para se cozinhar um grande número de feijões, individualmente, a um determinado grau de maciez (MORRIS 1964; JACKSON, VARRIANO-MARSTON, 1981).

O aparelho de Mattson foi usado com modificações por MORRIS (1964), BURR et al (1968) e JACKSON, VARRIANO-MARSTON (1981).

A unidade fundamental desse aparelho é um certo número de hastes verticais e individuais, com peso pré-estabelecido, cada uma terminando em pontas delgadas que ficam apoiadas sobre cada grão de feijão durante o cozimento. Quando o grão torna-se "cozido", é então penetrado pela ponta e o deslocamento vertical da haste acusa seu tempo de cozimento. Os grãos são mantidos em receptáculos individuais. Durante o cozimento, toda a porção do aparelho compreendida pelos receptáculos e parte das hastes é conservada dentro da água fervente (STANLEY, AGUILERA, 1985).

O critério normalmente adotado para o tempo médio de cozimento de uma dada amostra, é o tempo requerido para que 50% dos feijões sejam penetrados. Deve ser enfatizado que no tempo médio de cozimento apenas metade dos feijões estão inteiramente cozidos, ou seja, seria necessário um tempo substancialmente maior para cozinhar adequadamente a amostra (MORRIS, 1964; BURR et al, 1968).

BURR et al (1968) e CUNHA (1992), encontraram que os resultados do teste de cocção feito com o "Penetrômetro de Mattson" modificado por BURR (haste com peso

ajustado a 90 gramas), corresponderam aos resultados da análise sensorial.

Segundo SHAMA, SHERMAN (1973), a máquina de testes universal Instron (Universal Testing Machine - U.T.M.) tem sido largamente utilizada na avaliação de propriedades texturais de alimentos sólidos. O instrumento oferece amplas condições de teste com particular referência à magnitude de carga aplicada e à taxa a que é aplicada. Os valores de Força-Deformação são influenciados pela taxa de aplicação de força à amostra (velocidade da cabeça da máquina), de modo que à medida que aumenta a taxa de aplicação de carga, a força necessária para se atingir uma mesma deformação também é aumentada.

BOURNE (1972) desenvolveu um teste de perfuração de grãos para determinar individualmente a qualidade de textura de feijões cozidos, utilizando um dispositivo adaptado ao Instron. A força necessária para perfurar os grãos cozidos por trinta minutos a 121° C era registrada na carta em forma de pico. A curva obtida ao se plotar o número de grãos em cada intervalo de força de perfuração seguia, aproximadamente, uma distribuição normal com uma cauda longa e estreita, devido a um pequeno número de grãos no intervalo de maior força. De acordo com o autor, a presença desta pequena porcentagem de grãos mais duros não seria detectada pelos métodos que avaliam a textura de uma

grande quantidade de grãos num único teste, tais como: "tenderômetro", "shear press" ou células de extrusão.

JACKIX (1978), estudando a influência do armazenamento e de diferentes tratamentos de maceração e cocção na qualidade de textura de feijões enlatados, concluiu que a força média de perfuração por si só não foi um bom parâmetro de avaliação da textura de feijões cozidos, uma vez que não acusou a presença dos grãos mais duros, os quais são facilmente evidenciados quando mastigados, e que portanto, o coeficiente de variação da força deve ser considerado na avaliação física da textura de feijões armazenados.

Testes de compressão constituem um método objetivo utilizado na avaliação e controle da qualidade de materiais biológicos (ASAE S 368.1, 1989). A avaliação da textura nos testes de compressão é feita através da curva Força - Deformação, formada pelos valores da força com relação à deformação do produto, antes de este ser penetrado pela ferramenta (BOURNE, 1966).

Conforme ASAE S 368.1 (1989), o aparato necessário à realização do teste de compressão consiste de uma apropriada máquina de teste capaz de realizar movimento vertical da cabeça, dotada de um sistema sensor e registrador de carga, e de uma ferramenta de compressão para aplicar a carga no produto. Devido à grande variância inerente em

materiais biológicos, cada experimento deve envolver um mínimo de vinte determinações por amostra, para se obter um nível de confiança aceitável nos resultados. Para sementes e grãos, recomenda-se uma velocidade de teste de 1,25 mm/min. \pm 50%.

As metodologias citadas previamente lidam todas elas com feijões cozidos, com exceção dos testes de compressão que podem também ser utilizados para feijões "*in natura*". Os defeitos de endurecimento podem ocorrer em diferentes estágios do processamento e por diferentes mecanismos, tornando-se então importante medir-se também a textura de leguminosas cruas e maceradas (STANLEY, AGUILERA, 1985).

A relação entre os parâmetros texturais do alimento processado termicamente e as propriedades mecânicas do alimento cru pode ser útil para os aspectos de controle de qualidade da matéria prima e otimização das condições de processamento (ANZALDUA-MORALES, BRENNAN, 1982).

SEFA-DEDEH et al (1978), estudando a correlação entre a textura de ervilhas cruas e maceradas e a textura de ervilhas cozidas, encontraram que a dureza de leguminosas cozidas poderia ser estimada a partir da dureza dos correspondentes grãos macerados, mas não a partir dos grãos crus. Para tal estudo construíram um aparelho com a

finalidade de avaliar a textura de ervilhas cruas e maceradas, o qual constitui-se de uma lâmina adaptada ao Instron para cortar os grãos crus.

ANZALDUA-MORALES, BRENNAN (1982), verificando se as características texturais de feijões cozidos poderiam ser relacionadas às propriedades mecânicas de feijões secos no campo, encontraram que as máximas forças para compressão e extrusão ("*back extrusion*") de feijões enlatados em salmoura foram linearmente dependentes das máximas forças de compressão de feijões crus.

2.4. Fatores que Afetam a Textura do Feijão durante a Armazenagem

2.4.1 Temperatura Ambiental

A qualidade de textura de feijões é inversamente proporcional à sua temperatura de armazenagem e valores mais elevados de temperatura implicam em fatores prejudiciais mais severos. (MORRIS, WOOD, 1956; BURR et al, 1968; MOLINA et al, 1975; SEFA-DEDEH et al, 1979; SILVA et al, 1981 e AGUILERA, STANLEY, 1985).

SEFA-DEDEH et al (1979), armazenando ervilhas sobre três condições de temperatura e umidade relativa (U.R.):

- a) 0°C a 80% U.R.;
- b) 21°C a 35% U.R.;
- c) 29°C a 85% U.R.,

por um período superior a doze meses, concluíram que a taxa de cozimento dos grãos decresceu com o aumento da temperatura e que a armazenagem a 29°C induziu a formação de defeito de textura.

GARRUTI, BOURNE (1985) armazenando feijões "Red-Kidney" em plásticos fechados por seis meses, sob três condições de temperatura e umidade relativa de armazenagem:

- a) 2°C - controle;
- b) 30°C - 80% U.R.;
- c) 40°C - 80% U.R.,

relataram que a textura de feijões armazenados a 2°C (controle) não apresentou nenhuma alteração durante seis meses enquanto que feijões armazenados a 30°C e 40°C apresentaram grande incremento da dureza. Os feijões armazenados a 30°C e 40°C foram 1,8 e 2,1 vezes mais duros

que a amostra controle, respectivamente, após seis meses de armazenagem.

Segundo SIEVWRIGHT, SHIPE (1986), feijões pretos armazenados a 30°C com 80% U.R. e a 40°C com 80% U.R. apresentaram aumentos marcantes na firmeza, enquanto aqueles armazenados a 5°C com 50% U.R. apresentaram mínimas alterações nessa propriedade.

Vários estudos concordam que a temperaturas de refrigeração (0 - 5°C) ocorrem mínimas alterações na textura de feijões (MOLINA et al, 1976; MOSCOSO et al, 1984; AGUILERA et al, 1986 e SIEVWRIGHT, SHIPE, 1986). Armazenamento na faixa de 12-20°C também induz apenas pequenas alterações na textura (BURR et al, 1968).

2.4.2. Conteúdo de Umidade

A qualidade de textura de feijões é inversamente proporcional ao seu conteúdo de umidade e o prejuízo à cozinhabilidade é tanto maior quanto mais alta a umidade no armazenamento (MORRIS, WOOD, 1956; MUNETA, 1964; BURR et al, 1968; MOLINA et al, 1975).

Os diversos autores entretanto encontraram diferentes níveis críticos de umidade dos grãos acima dos

quais ocorre um endurecimento significativo do feijão durante o armazenamento.

MORRIS, WOOD (1956), estudando a influência do conteúdo de umidade na qualidade de cocção de sete variedades de feijões, armazenaram as amostras na faixa de umidade de 4 a 15% e temperatura de 25°C. Amostras de cada variedade, com teores de umidade próximos de 10% foram armazenadas a -23°C, servindo como testemunhas. Periodicamente as amostras eram retiradas e cozidas por um tempo fixo, determinado como adequado no início do experimento e então submetidas a um painel de provadores. Conteúdos de umidade acima de 13% provocaram deterioração significativa em sabor e textura, após armazenagem por seis meses a 25°C. Num período de doze meses, eles se tornaram inaceitáveis em sabor e textura. Feijões armazenados com umidade abaixo de 10% mantiveram sua qualidade de cozimento por dois anos a 25°C quase tão bem quanto as amostras testemunhas armazenadas a -23°C.

MORRIS (1964) se empenhou em verificar se ocorreriam alterações significativas de cozinhabilidade em feijões com altos teores de umidade, se fossem armazenados a temperaturas abaixo de 21,1°C, comparáveis às condições de armazenagem de inverno em climas frios. A amostra armazenada a 15,5% de umidade e 21,1°C apresentou um aumento significativo no tempo de cozimento após o primeiro mês e

necessitou o dobro do seu tempo de cozimento inicial após quatro meses de armazenagem. Ao se reduzir o conteúdo de umidade de 15,5% para 14,9% e para 13.1%, reduziu-se também a taxa de alteração do tempo de cozimento à metade e a um terço do valor anterior, respectivamente.

BURR et al (1968), armazenando três variedades de feijões, em latas fechadas de metal galvanizado, sob conteúdos de umidade variando de 6,5% a 16%, concluíram que feijões armazenados a altos conteúdos de umidade têm a sua cozinhabilidade prejudicada e também que a armazenagem torna-se estável a um conteúdo de umidade inferior ou igual a 11%.

De acordo com AGUILERA et al (1986), que armazenaram feijões em sacos de polietileno por sete meses à baixa ($18 \pm 3^{\circ}\text{C}$) e alta ($34 \pm 3^{\circ}\text{C}$) temperaturas, teores iniciais de umidade abaixo de 10% não tiveram um efeito significativo na taxa de endurecimento dos grãos armazenados sob baixa temperatura. As amostras armazenadas por duzentos e doze dias a conteúdos de umidade de 4 a 5%, sofreram apenas um lento endurecimento independente da temperatura de armazenagem. Estes resultados estão de acordo com os de BURR et al (1968), que encontraram que o efeito da temperatura no endurecimento de feijões poderia ser eliminado por baixos conteúdos de umidade durante a armazenagem.

RIVERA et al (1989), investigando o efeito das condições de estocagem no endurecimento de feijões pretos, relataram que o armazenamento de feijões a baixos conteúdos de umidade (5 e 7%) foi efetivo na prevenção do endurecimento a temperaturas de até 37°C. Feijões armazenados a 13% de umidade, entretanto, exibiram endurecimento significativo nas temperaturas de 15, 27, 32 e 37°C, empregadas neste estudo.

Segundo diversos autores, altas temperaturas associadas a altos conteúdos de umidade no ambiente de armazenagem, condições normalmente encontradas nos trópicos úmidos, aceleram o desenvolvimento dos defeitos texturais, aumentando o tempo de cocção necessário para amaciar as sementes de leguminosas (MORRIS, WOOD, 1956; BURR et al, 1968; MOLINA, 1975; SEFA-DEDEH et al, 1979; MOSCOSO et al, 1984; HINCKS, STANLEY, 1986; SGARBIERI, GARRUTI, 1986; AGUILERA, BALLIVIAN, 1987; HINCKS et al, 1987; PHLAK et al, 1987; EDMISTER et al, 1990; STANLEY et al, 1990; MAFULEKA et al, 1991).

MUNETTA (1964) e ANTUNES, SGARBIERI (1979) , relataram que feijões com tempo de cozimento inicial de 60 minutos não foram amaciados mesmo depois de 300 minutos, quando armazenados por seis meses a 37°C e umidade relativa de 76%.

HOHLBERG , STANLEY (1987) armazenaram feijões pretos por dez meses sob três condições ambientais:

- a) Altas temperatura e umidade (30°C, 85% U.R.);
- b) Médias temperatura e umidade (25°C, 65% U.R.);
- c) Baixas temperaturas e umidade (15°C, 35% U.R.),

a fim de verificar sua influência no desenvolvimento de defeitos texturais, através da determinação da textura dos feijões macerados e dos feijões cozidos. Os conteúdos de umidade de equilíbrio médios dos grãos foram 13,5%, 10,8% e 9,6%, respectivamente. O defeito "hard-to-cook" desenvolveu-se completamente nos grãos armazenados sob condições de altas temperaturas e umidades e parcialmente nas amostras armazenadas a temperaturas e umidades de média intensidade. A dureza dos feijões macerados não sofreu alteração significativa durante a armazenagem em nenhuma das condições empregadas, indicando que o defeito "hardshell" não foi detectado nos feijões.

PLHAK et al (1987), estudando a efetividade de diferentes pré-tratamentos para prevenir a deterioração de textura em feijões secos, armazenaram amostras por doze meses em duas atmosferas controladas:

- a) Altas temperatura e umidade (30°C, 80% U.R.);
- b) Baixas temperatura e umidade (15°C, 30% U.R.).

A condição de baixas temperatura e umidade não provocou endurecimento em nenhuma das amostras pré-tratadas. Por outro lado, a condição de altas temperatura e umidade induziu o desenvolvimento de defeito de textura após sessenta dias para todas as amostras.

STANLEY et al (1990), armazenando vinte cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em sacos de pano sob condições de elevadas temperatura (30°C) e umidade relativa (85%), constataram que todos os cultivares endureceram apreciavelmente durante a armazenagem.

EDMISTER et al (1990), com a finalidade de verificar a influência da temperatura, umidade e tempo de estocagem na cozinhabilidade de uma mistura de feijões "Rwandan" (*Phaseolus vulgaris*), armazenaram amostras a temperaturas de 4, 23 e 30°C e teores de umidade de 9, 12 e 15% por vinte e quatro meses. Os autores observaram que à medida que aumenta a temperatura de armazenagem, o conteúdo de umidade torna-se mais importante e relataram ainda, que feijões podem ser seguramente armazenados por vinte e quatro meses a 23°C se a umidade é suficientemente baixa (9%), e por dezesseis meses nas duas condições de umidades mais altas (12 e 15%).

2.4.3. Tempo de Armazenagem

Pesquisadores são unânimes em afirmar que o fenômeno de envelhecimento dos grãos de feijão, indicado por sua perda de cozinhabilidade, desenvolve-se ao longo do período de armazenagem e é agravado sob condições desfavoráveis de umidade e temperatura (MORRIS, WOOD, 1956; MUNETA, 1964; BURR et al, 1968; MOLINA et al, 1975; DURIGAN, 1979; MOSCOSO et al, 1984; MAFULEKA et al, 1991).

2.4.4. Tratamento Térmico

AGUILERA, STANLEY (1985) relataram que a aplicação de um tratamento térmico, antes da armazenagem, é um método utilizado para se inativar a atividade enzimática em alimentos.

MOLINA et al (1976) averiguaram o efeito de dois tipos de tratamentos térmicos, aplicados antes da armazenagem, no fenômeno de endurecimento de feijões pretos:

- a) Vapor a 98°C por 10, 20 e 30 minutos;
- b) Autoclavagem a 121°C por 2, 5 e 10 minutos.

Amostras de cada tratamento avaliado foram armazenadas à temperatura de 25°C e umidade relativa de 70%, assim como sob refrigeração (4°C - Testemunha), por um período de nove

meses. Os tratamentos mais breves, vapor a 98°C por 10 minutos e autoclavagem a 121°C por 2 minutos, foram os mais efetivos na prevenção do endurecimento dos grãos de feijão, apresentando valores de textura estatisticamente iguais aos das amostras testemunhas mantidas a 4°C.

AGUILERA et al (1982) desenvolveram um sistema de processamento térmico a seco, utilizando partículas sólidas quentes de cerâmica ("beads") como meio de transferência de calor.

Posteriormente, AGUILERA, STEINSAPIR (1985), aplicaram um tratamento térmico em feijões chilenos, colocando-os em um cilindro de metal aquecido por 3 minutos, tempo suficiente para que a temperatura interna atingisse 105°C. Após dez meses de armazenagem a 22°C, feijões tratados foram significativamente mais macios após cocção quando comparados à testemunha não tratada, embora tenham sofrido um alto grau de endurecimento ao fim de dez meses.

HINCKS, STANLEY (1986), com o intuito de investigar o fenômeno "hard-to-cook" em feijões pretos armazenados, assim como suas alterações texturais, avaliaram feijões tratados termicamente a seco (150°C por 2 minutos) e feijões secos no campo (11,7% de umidade) sob duas condições de estocagem:

a) Altas temperatura e umidade (30°C, 85% U.R.);

b) Baixas temperatura e umidade (15°C, 35% U.R.).

Antes do início da armazenagem (mês 0), os valores de compressão após cocção das amostras tratadas termicamente foram significativamente baixos se comparados aos das amostras secas no campo. No entanto, sob condições de temperatura e umidade altas, este pré-tratamento acentuou o desenvolvimento da dureza após quatro meses de armazenagem.

De acordo com os autores, "Há evidência de que a aplicação de tratamento térmico pode reduzir a dureza de feijões cozidos, se armazenados sob condições apropriadas. Entretanto, se as condições de armazenagem não são favoráveis, um tratamento térmico sub-letal aos componentes participantes do mecanismo de endurecimento, pode realmente acentuar o defeito ao longo do armazenamento".

AGUILERA, BALLIVIAN (1987), estudando o desenvolvimento da dureza em feijões pretos durante estocagem sob condições de temperatura e umidade controladas, armazenaram feijões tratados termicamente a 80°C e não tratados (controle) por um período de nove meses com diferentes conteúdos de umidade (8, 10, 12 e 14%) e temperaturas (8.5, 25 e 40°C). Os autores observaram que feijões tratados termicamente tornaram-se significativamente mais duros que os não tratados, quando armazenados sob

condições de altas temperaturas associadas a altos conteúdos de umidade.

AGUILERA et al (1986) estudaram os efeitos de diferentes tratamentos térmicos e secagens na qualidade de cozimento de feijões brancos armazenados em condições de temperaturas alta ($34 \pm 3^{\circ}\text{C}$) e baixa ($18 \pm 3^{\circ}\text{C}$). Os autores verificaram que os feijões armazenados a um conteúdo de umidade inicial mais alto (8 a 10%) endureceram mais do que aqueles armazenados a um baixo conteúdo de umidade (4 a 5%) após duzentos e doze dias a $34 \pm 3^{\circ}\text{C}$, concluindo que o tratamento térmico a seco (2 minutos a 61°C) e secagem solar são tratamentos efetivos na prevenção do endurecimento durante a armazenagem, à medida que reduzem satisfatoriamente a umidade a níveis mais seguros.

AGUILERA et al (1987) avaliaram a aplicação de um tratamento térmico a seco ("roasting") cujo meio de transferência de calor eram partículas de areia, na inativação de enzimas, secagem e desinfestação de insetos de feijões pretos. O tratamento térmico a 80°C reduziu a umidade dos feijões de 13 para 9%, acarretando após doze meses de armazenagem a 32°C , uma textura três vezes mais macia com relação à testemunha (13% de umidade) não tratada termicamente. O tratamento térmico a 80°C mostrou ser um tratamento adequado para controle do endurecimento de feijões

armazenados sob altas temperaturas, através da remoção de uma pequena, mas crítica, quantidade de água dos feijões.

Tentativas de deter o fenômeno "*hard-to-cook*" em feijões têm sido voltadas para métodos facilmente implementáveis e acessíveis, tais como tratamento térmico a seco, os quais têm se mostrado útil na prevenção do endurecimento de feijão preto durante a armazenagem, devido a uma redução do conteúdo de umidade resultante da secagem (AGUILERA, STANLEY, 1985), e efeitos benéficos pela inativação parcial de sistemas enzimáticos (AGUILERA et al, 1982). Reforçando estas observações, RIVERA et al (1989) enfatiza, no entanto, que o emprego de embalagem impermeável para evitar a reentrada de água, durante armazenagem à alta umidade relativa, é um procedimento caro e não muito utilizado em países tropicais produtores de feijão.

2.4.5. Aeração

MEJIA (1982), verificando o efeito da atmosfera de armazenagem no processo de endurecimento de feijões pretos, estocaram os grãos por seis meses em sacos de tecidos colocados em recipientes de vidro, para que se fossem injetados Dióxido de Carbono (CO₂) a uns, ar a outros e uma combinação de ambos aos recipientes restantes. O autor concluiu que a presença de ar no ambiente de armazenagem teve

um efeito negativo sobre o tempo de cozimento de feijões, fenômeno não observado quando da substituição do ar por Dióxido de Carbono (CO_2) e comenta ainda que, "possivelmente o endurecimento dos grãos está relacionado a um processo oxidativo".

Em trabalho semelhante, MOLINA et al (1982) armazenaram feijões pretos por seis meses sob quatro atmosferas distintas:

- a) 100% ar;
- b) 75% ar e 25% CO_2 ;
- c) 50% ar e 50% CO_2 ;
- d) 25% ar e 75% CO_2 .

Os autores, divergindo de MEJIA (1982), verificaram que o enrarecimento da atmosfera com a adição de Dióxido de Carbono provocou um incremento no valor de dureza dos grãos cozidos.

AGUILERA, RIVERA (1990) avaliaram o efeito do ar e dos gases Nitrogênio (N_2) e Dióxido de Carbono (CO_2) na taxa de endurecimento de feijões pretos armazenados a 14% de umidade e a 31°C , em embalagem impermeável por um período de onze meses. A concentração de CO_2 aumentou durante a armazenagem de feijões em atmosferas contendo ar ou Nitrogênio, e diminuiu em feijões mantidos sob Dióxido de

Carbono. Os autores não detectaram nenhum efeito apreciável na taxa de endurecimento de feijões, em decorrência do uso de atmosferas modificadas (N_2 e CO_2).

Os mesmos autores, com a finalidade de analisar o endurecimento de feijões pretos embalados em diferentes materiais, armazenaram os feijões por um ano simulando as condições em países tropicais ($30 \pm 2^\circ C$ e 70 - 80% U.R.) e encontraram que os grãos armazenados em embalagens mais impermeáveis (conteúdo de umidade de 10,5 a 12%), endureceram a uma taxa mais baixa que os grãos armazenados em sacos de tecido convencionais (umidade de equilíbrio de 14 a 15%), devido ao melhor controle de umidade.

Em algumas pesquisas envolvendo armazenagem de feijões em recipientes fechados, os autores fazem referência à aplicação de breve aeração dos grãos a intervalos regulares de tempo, para eliminar a interferência da respiração normal dos feijões (consumo de O_2 e produção de CO_2 na atmosfera de armazenagem) (MOSCOSO et al, 1984; EDMISTER et al, 1990) e também para simular o armazenamento comercial em sacos de tecido (BURR et al, 1968).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Matéria Prima

Utilizou-se neste experimento grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*) da variedade Carioca da safra das águas de 1990, proveniente da região de Chapecó, estado de Santa Catarina, totalizando 3 sacas de 60 Kg do produto. Realizou-se uma amostragem representativa do feijão, contendo grãos das três sacas, para a caracterização inicial do produto. Os feijões recém colhidos foram acondicionados em sacos de polietileno e mantidos em uma câmara de refrigeração FANEN (modelo 095), do Laboratório de Ambiência da Faculdade de Engenharia Agrícola -FEAGRI - UNICAMP, à temperatura média de 10°C, até que fossem utilizados no experimento. Os grãos foram classificados de acordo com a portaria número 161 de 24 de julho de 1987 do Ministério da Agricultura.

3.2. Caracterização Inicial do Produto

Algumas determinações físicas foram realizadas para caracterizar a matéria prima:

3.2.1. Umidade

A umidade dos grãos de feijão foi determinada em estufa à pressão atmosférica utilizando-se a temperatura de 105°C por 24 horas, conforme recomendações oficiais do Ministério da Agricultura, de acordo com PUZZI (1977). Foram realizadas cinco repetições.

Para a determinação de umidade utilizou-se uma estufa FANEN Ltda. (Modelo 315/4) e uma balança analítica SARTORIUS, com 4 dígitos de precisão e capacidade de 200 gramas.

3.2.2. Peso Específico Aparente

O Peso específico aparente foi determinado conforme metodologia utilizada por BENEDETTI (1987), verificando-se o peso de feijão que cabe em um recipiente padrão de volume aproximadamente igual a um litro, após o livre escoamento do produto através de um funil.

Calculou-se o peso específico aparente pela relação:

$$\rho_{ap} = \frac{m}{V_r}$$

Onde:

ρ_{ap} = Peso específico aparente [g/ml]

m = Massa do produto [g]

V_r = Volume do recipiente [ml]

Foram realizadas 5 repetições.

3.2.3. Peso Específico Real

Para determinação do Peso específico real foi utilizado o princípio de Arquimedes (BENEDETTI, 1987): 150 gramas de feijão foram colocados em proveta graduada de 500 ml contendo 250 ml de água. Pelo volume de água deslocado, calculou-se o peso específico real pela relação:

$$\rho_r = \frac{m}{V_d}$$

Onde:

ρ_r = Peso específico real [g/ml]

m = Massa do produto [g]

V_d = Volume de água deslocada [ml]

Foram realizadas 5 repetições.

3.2.4. Porosidade

Após a determinação do Peso específico aparente e do Peso específico real, calculou-se a Porosidade pela relação:

$$P = \left(1 - \frac{\rho_{ap}}{\rho_r}\right) \times 100$$

Onde:

P = Porosidade [%]

ρ_{ap} = Peso específico aparente [g/ml]

ρ_r = Peso específico real [g/ml]

3.3. Montagem do Experimento

O produto foi separado em três lotes, os quais eram abertos a cada duas semanas e divididos em outros três sublotos submetidos aos seguintes tratamentos térmicos (conforme MOLINA et al, 1976):

- a. Exposição ao vapor a 98°C por dez minutos;
- b. Autoclavagem a 121°C por dois minutos; e
- c. Testemunha

Após a aplicação dos tratamentos, os três sublotes eram colocados em um dos seguintes níveis de umidade: 7, 10 e 13% através de exposição ao sol em superfície plana. Para se atingir a umidade de 7%, foi necessário secagem posterior em secador de coluna, com temperatura do ar de entrada de $43 \pm 2^{\circ}\text{C}$.

A montagem do experimento consistiu na implementação das 18 combinações resultantes dos níveis dos três fatores envolvidos (umidade, tratamento térmico e aeração) e foi realizada gradativamente, de forma que a cada duas semanas eram montadas três combinações em duplicata, para as condições de aeração e não aeração durante o período de armazenagem.

3.4. Tratamentos Térmicos

3.4.1. Vapor

Os grãos foram colocados em bandejas com tela na parte inferior de maneira que formassem um única camada, e expostos ao vapor à temperatura de 98°C por dez minutos em câmara de vapor da Planta Piloto da Faculdade de Engenharia de Alimentos - FEA - UNICAMP . Em seguida eram deixados em contato com o ambiente para esfriar e novamente acondicionados em sacos de polietileno, até que fossem submetidos ao processo de secagem.

3.4.2. Autoclave

Os grãos foram colocados no interior de uma autoclave LUTZ FERRANDO (modelo 39.211) dispostos em peneiras de metal de maneira que formassem uma camada única, e submetidos à autoclavagem com vapor à temperatura de 121°C por dois minutos, sendo em seguida resfriados naturalmente e novamente acondicionados em sacos de polietileno.

3.4.3. Testemunha

Grãos que não receberam nenhum tratamento térmico foram utilizados como testemunha para efeitos comparativos.

3.5. Armazenamento dos Grãos

Os feijões tratados termicamente e testemunhas, logo após terem sido acondicionados nos três níveis de umidade em estudo, foram armazenados em vidros herméticos (Figura 01) sob duas condições:

- a) Aeração a cada quinze dias;
- b) Sem aeração,

com o intuito de verificar a interferência da presença de ar ambiente no endurecimento dos grãos de feijão (MOSCOSO et al, 1984; EDMISTER et al, 1990).

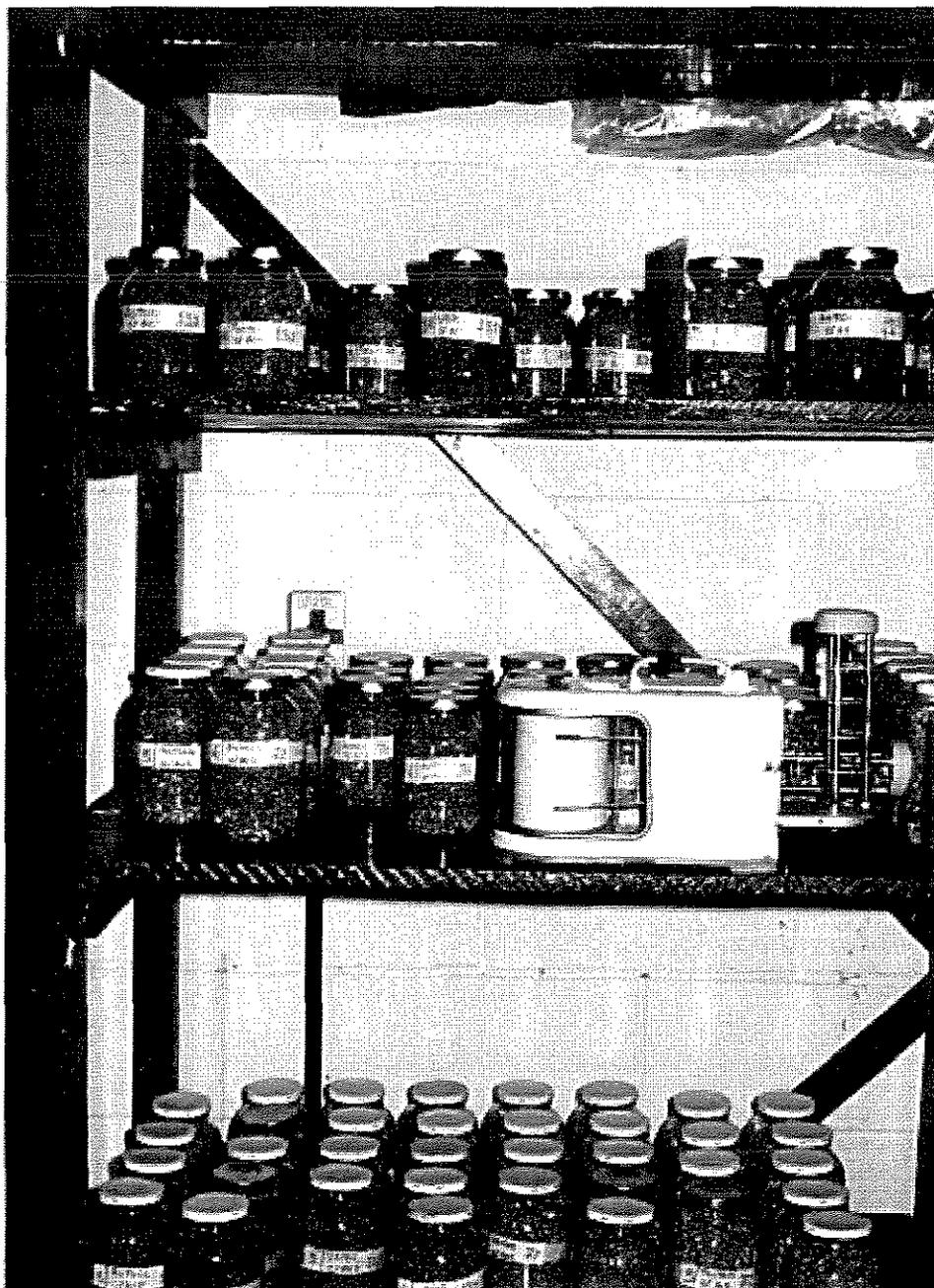


FIGURA 01 - Sistema de armazenamento de feijões em vidros herméticos, sob condições ambientais continuamente registradas por termohigrógrafo

O produto foi estocado por um período de oito meses, em condições de ambiente natural continuamente registradas por termohigrógrafo, no Laboratório de Matérias Primas Agropecuárias da Faculdade de Engenharia Agrícola - FEAGRI - UNICAMP.

O efeito do tempo de armazenamento no endurecimento dos grãos também foi estudado, de forma que para cada combinação dos demais fatores, foram montadas cinco unidades de armazenagem referentes a cada período (Inicial, Mês 2, Mês 4, Mês 6 e Mês 8).

Cada unidade de armazenagem consistia de um vidro com tampa, totalmente preenchido com o produto (0,600 kg de feijão), que era aberto no período de armazenagem estipulado para a realização dos testes de avaliação de textura daquela unidade.

Sendo assim, haviam cinco vidros de produtos para cada uma das condições de aeração e não aeração, em cada nível de umidade e para cada tratamento térmico, perfazendo-se um total de noventa vidros.

3.6. Aeração

Cada vidro, correspondente à condição de armazenagem com aeração, era aberto a intervalos regulares de 15 dias e aerado pela remoção da tampa por dois minutos, passagem dos grãos para um outro vidro seguido de retorno ao vidro original (com o auxílio de um funil de metal), e fechamento.

3.7. Amostragem

Foram realizadas amostragens no início e a cada dois meses durante o período de armazenamento, para as análises físicas de textura acompanhadas das determinações de umidade.

Uma vez aberto o vidro, realizavam-se as análises físicas e o vidro era então descartado do experimento.

3.8. Avaliação da Qualidade de Textura

Foram avaliadas a textura dos grãos de feijão "*in natura*" pelo teste de determinação da resistência à compressão, e a textura dos grãos cozidos pelo teste de determinação da cozinhabilidade.

3.8.1. Teste de Determinação da Cozinhabilidade

A cozinhabilidade dos grãos, também representada pelo tempo de cocção requerido para se atingir uma certa textura, foi determinada através do aparelho denominado "Penetrômetro de Mattson", modificado segundo BURR et al (1968) e JACKSON, VARRIANO-MARSTON (1981) e construído para esta pesquisa pelo Laboratório de Protótipos do Departamento de Máquinas Agrícolas da FEAGRI - UNICAMP (Figura 02).

O aparelho utilizado, de funcionamento similar ao descrito anteriormente na página 9, é composto de vinte e cinco hastes verticais com pesos ajustados em 90g e possui extremidades inferiores de 2mm de diâmetro.

Os grãos submetidos a esse teste eram previamente macerados em água filtrada por um período de 18

horas na proporção peso/volume de 1:4 e então cozidos em água sob pressão atmosférica.

O teste de cozinhabilidade tinha seu início marcado pela colocação dos aparelhos em recipientes com água fervente, cujo volume era mantido constante pela adição de água também fervente, durante a realização do teste.

Utilizou-se o tempo correspondente ao cozimento de 50% da amostra como ponto de referência para comparação entre amostras de feijão, de forma que, o tempo de cozimento foi determinado pela queda de treze hastes do aparelho nos respectivos grãos. A duração dos testes de cozinhabilidade com o Penetrômetro foi limitada a 180 minutos, tempo considerado suficiente para indicar um elevado endurecimento das amostras, após os quais o teste era encerrado e o tempo de cocção estimado com base no número de hastes que haviam caído neste período. Foram realizadas três repetições.

3.8.2. Teste de Determinação da Resistência à Compressão

Os testes de compressão foram realizados no Laboratório de Propriedades Mecânicas de Produtos Biológicos do Departamento de Máquinas Agrícolas da FEAGRI - UNICAMP.

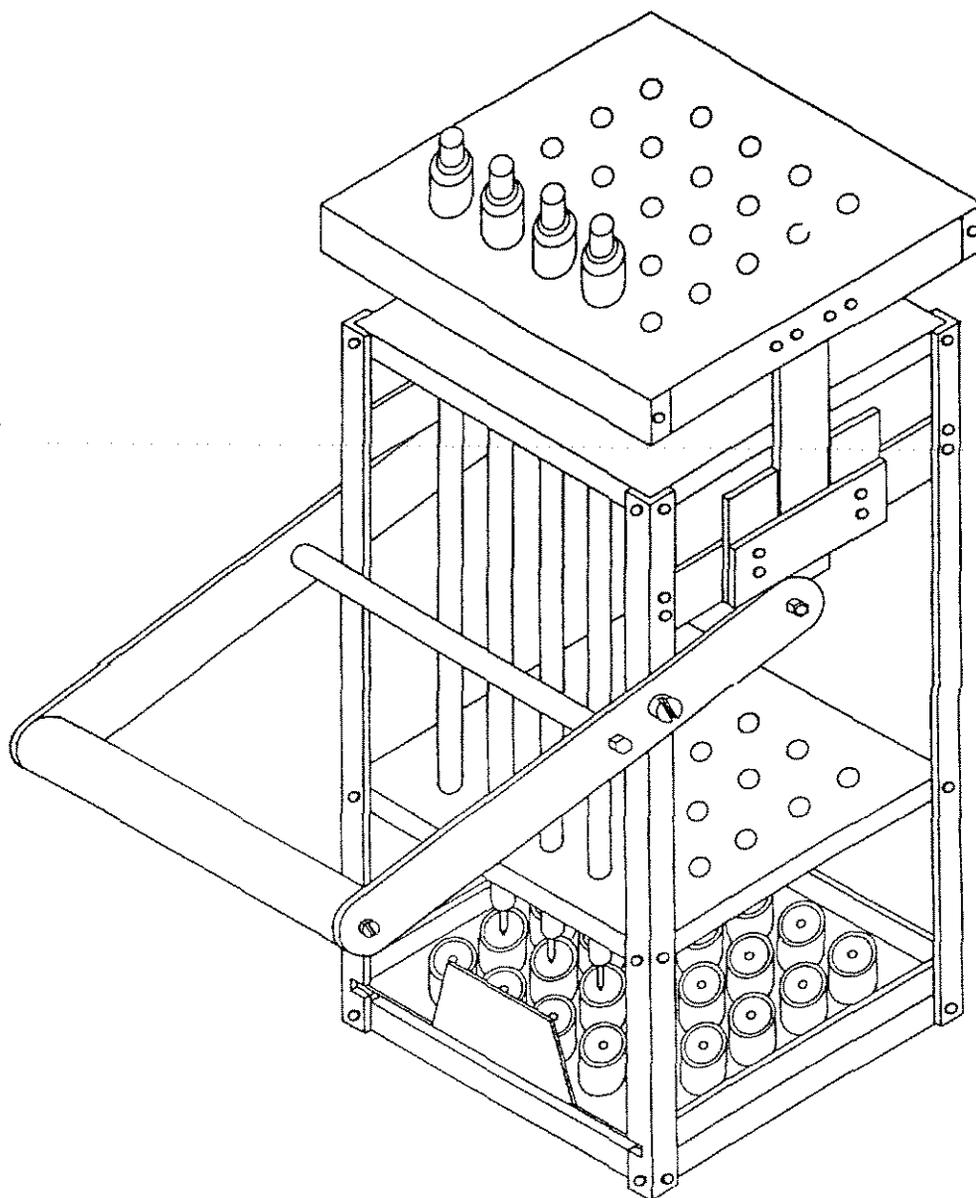


FIGURA 02 - "Penetrômetro de Mattson" modificado,
construído na FEAGRI - UNICAMP

O equipamento utilizado foi uma Máquina Universal de Testes (Ottawa Texture Measurement System - O.T.M.S.), provida de uma célula de carga de 100 kg, acoplada a um Amplificador Eletrônico de Sinais - DAYTRONIC 9010 e um Registrador - RIKEN DENSHI (Figuras 03 e 04).

Cada grão de feijão foi submetido à compressão utilizando-se uma ferramenta de superfície plana acoplada à cabeça do aparelho, a qual se movia a uma velocidade de 1,52 mm/s. Foi então gerado na carta do registrador, cuja velocidade era de 10 mm/s, um gráfico de Força x Deformação para cada feijão.

Para efeitos comparativos entre as diversas amostras, a deformação correspondente à força de 6 kg obtida diretamente nos gráficos (não transformada), foi tomada como ponto de referência de dureza dos grãos. A deformação real pode ser obtida pela seguinte relação:

$$D_R = \frac{V_C}{V_G} \times D_G$$

Onde:

D_R = Deformação real (mm).

D_G = Deformação gráfica (mm).

V_C = Velocidade da cabeça (mm/s).

V_G = Velocidade do gráfico (mm/s).

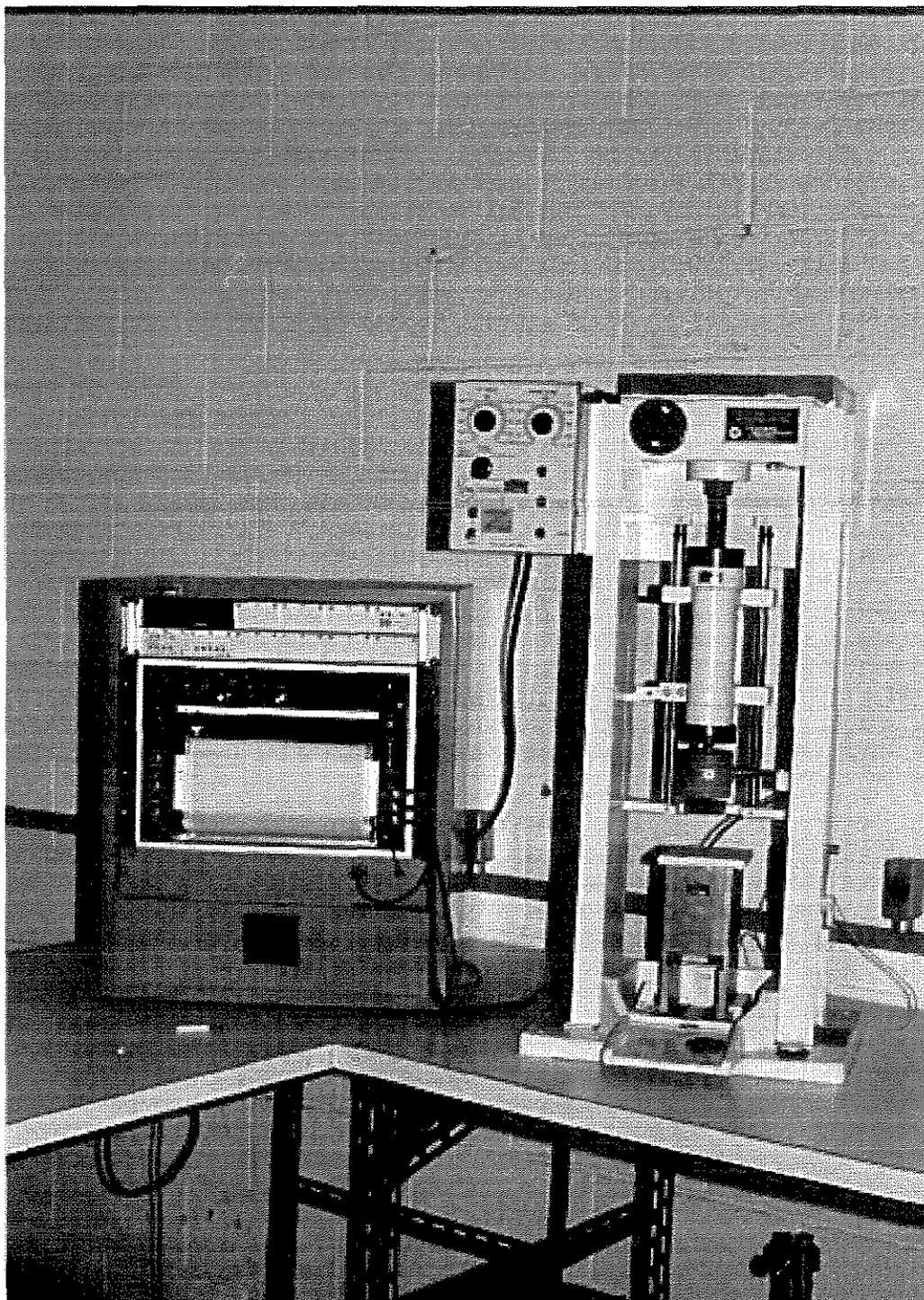


FIGURA 03 - Máquina universal de testes - O.T.M.S. (direita), Amplificador eletrônico de sinais - DAYTRONIC 9010 e Registrador - RIKEN DENSHI (esquerda), utilizados nos testes de resistência à compressão

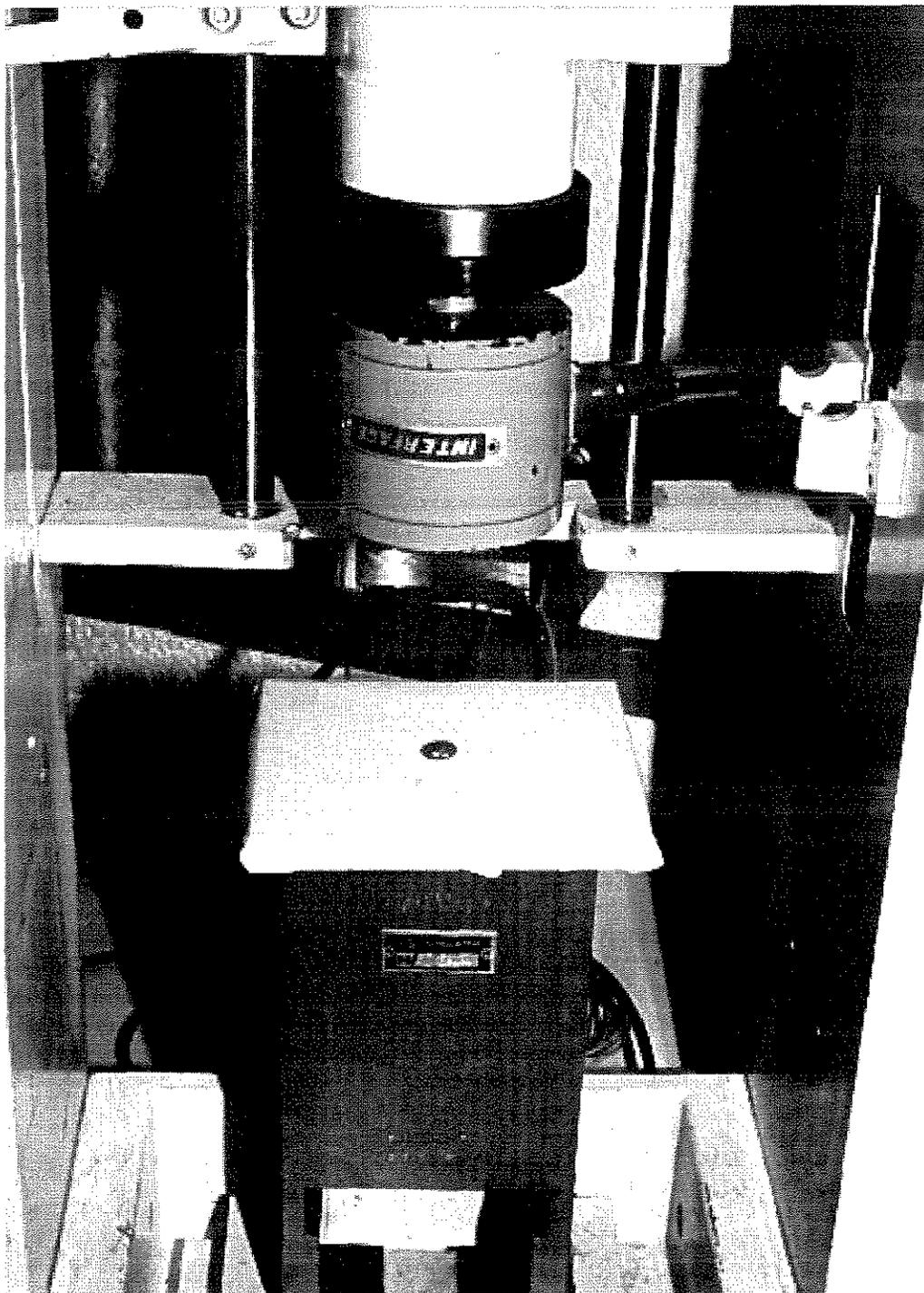


FIGURA 04 - Detalhe do teste de resistência à compressão, com o grão posicionado para ser comprimido entre as superfícies planas do equipamento - O.T.M.S.

A deformação real (mm) constituiu-se muitas vezes de valores decimais, de modo que optou-se por trabalhar com os dados não transformados.

Levando-se em conta a recomendação normativa ASAE S 368.1 (1989) de se testar um mínimo de vinte unidades, optou-se por testar trinta grãos para cada amostra de feijão. Para a realização da análise estatística dos dados, obteve-se uma média para os dados de cada dez grãos, resultando em três valores finais para cada amostra.

Devido à falha funcional do equipamento utilizado (O.T.M.S.), as amostras relativas ao último mês do experimento não puderam ser avaliadas.

3.9. Delineamento estatístico

Para a análise estatística dos resultados do teste de resistência à compressão e do teste de cozinhabilidade, utilizou-se um delineamento experimental inteiramente casualizado com arranjo fatorial 3 x 3 x 2 x 5, com três repetições.

Tratamentos Térmicos (T.TÉRM.)

Tratamento 1 : Vapor a 98°C por 10 min.

Tratamento 2 : Autoclave a 121°C por 2 min.

Tratamento 3 : Testemunha

Teor de Umidade dos grãos (UMI.)

..... Umidade 1 : 7%

Umidade 2 : 10%

Umidade 3 : 13%

Condições de presença de Ar Ambiente na armazenagem (AER.)

Condição 1 : com aeração

Condição 2 : sem aeração

Tempo de Armazenamento (TEM.)

Tempo 0 : inicial

Tempo 1 : 2 meses

Tempo 2 : 4 meses

Tempo 3 : 6 meses

Tempo 4 : 8 meses

Os dados obtidos no experimento foram analisados estatisticamente por análise de variância através do Programa SANEST (Sistema de Análise Estatística) desenvolvido pelo Centro de Informática na Agricultura (CIAGRI) junto à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - ESALQ/USP. Em complementação à análise de variância dos dados experimentais, aplicou-se o teste de Tukey para a diferenciação de médias ao nível de 5% de significância para os testes de cozinhabilidade e de 1% de significância para os testes de compressão de feijões crus.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Introdução

4.1.1. Classificação e Caracterização inicial dos grãos

O produto foi classificado como pertencendo ao Grupo I - Anão, à Classe de Cores e ao Tipo 2.

A caracterização inicial dos grãos de feijão utilizados neste trabalho foi efetuada através das determinações físicas de umidade, peso específico aparente, peso específico real e porosidade (Tabela 1).

4.1.2. Condições ambientais durante o armazenamento

Os dados médios de umidade relativa do ar e das temperaturas ambientais média, máxima e mínima atingidos

durante o período de armazenamento dos grãos no Laboratório de Matérias Primas Agropecuárias da FEAGRI - UNICAMP, são apresentados na Figura 5.

TABELA 1 - Caracterização inicial dos grãos de feijão através das determinações físicas de umidade, peso específico aparente, peso específico real e porosidade

Repet.	Umidade (%)	Peso espec. apar. (g/ml)	Peso espec. real (g/ml)	Porosidade (%)
1	13,66	0,843	1,229	
2	13,76	0,842	1,250	
3	13,86	0,842	1,277	33,22
4	14,03	0,841	1,277	
5	13,82	0,843	1,271	
Média	13,83	0,842	1,261	
D.P.	0,37	0,029	0,145	
C.V.	2,68	3,44	11,50	

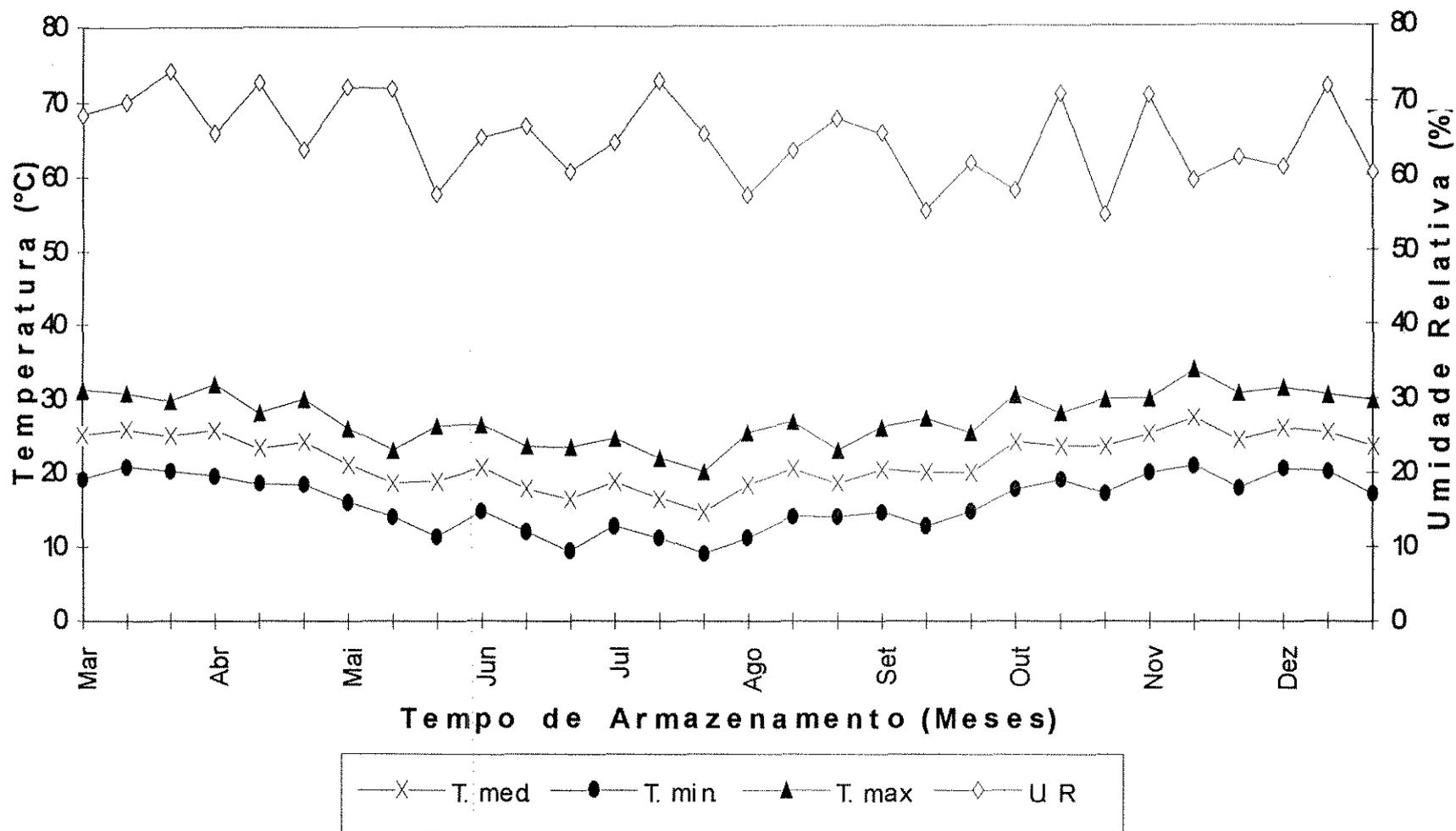


FIGURA 05- Temperaturas média, mínima, máxima e umidade relativa média do ambiente natural de armazenamento (médias de cada dez dias) em Campinas - S.P., durante o ano de 1990.

4.1.3. Variação da umidade dos grãos

As variações do teor de umidade dos grãos de feijão armazenados a 7 , 10 e 13% de umidade durante oito meses nas condições de aeração e não aeração são mostradas nas Figuras 6 a 11, respectivamente.

4.2. Testes de Cozinhabilidade

A Tabela 2 apresenta os valores médios dos tempos de cocção obtidos nos testes de cozinhabilidade realizados com o "Penetrômetro de Mattson", para todas as combinações de tratamentos estudadas.

A análise de variância dos resultados mostrou que os fatores Tratamento térmico, Umidade e Tempo de Armazenagem exerceram influência altamente significativa no endurecimento do feijão, uma vez que essas causas de variação apresentaram diferença significativa ao nível de 1% (Tabela 3).

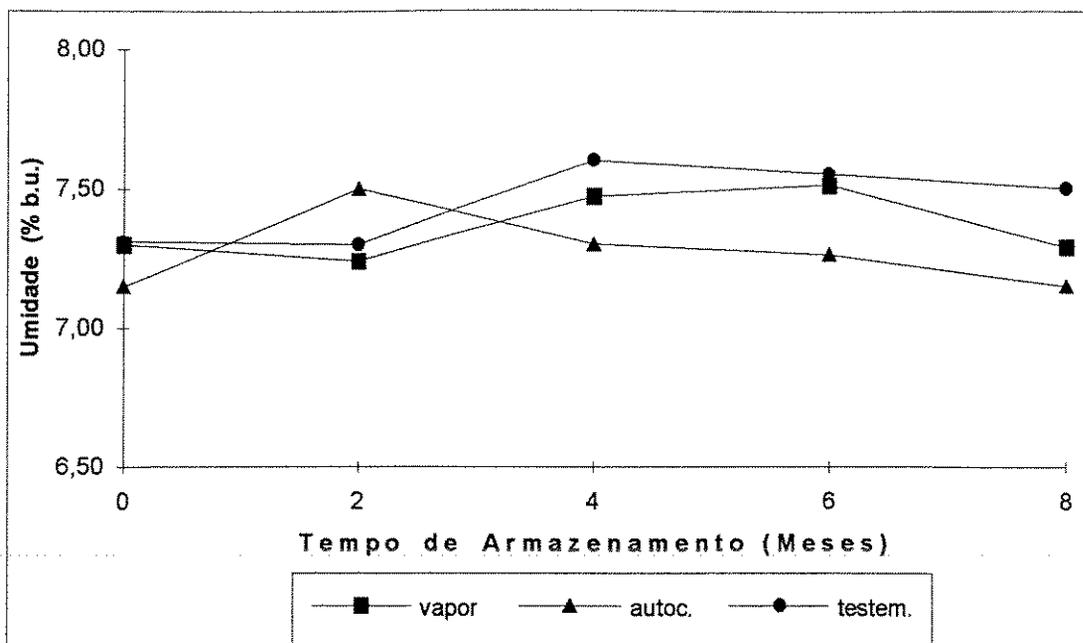


FIGURA 06- Variação do teor de umidade dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*), variedade Carioca, armazenados em vidros a 7% de umidade **com** aeração.

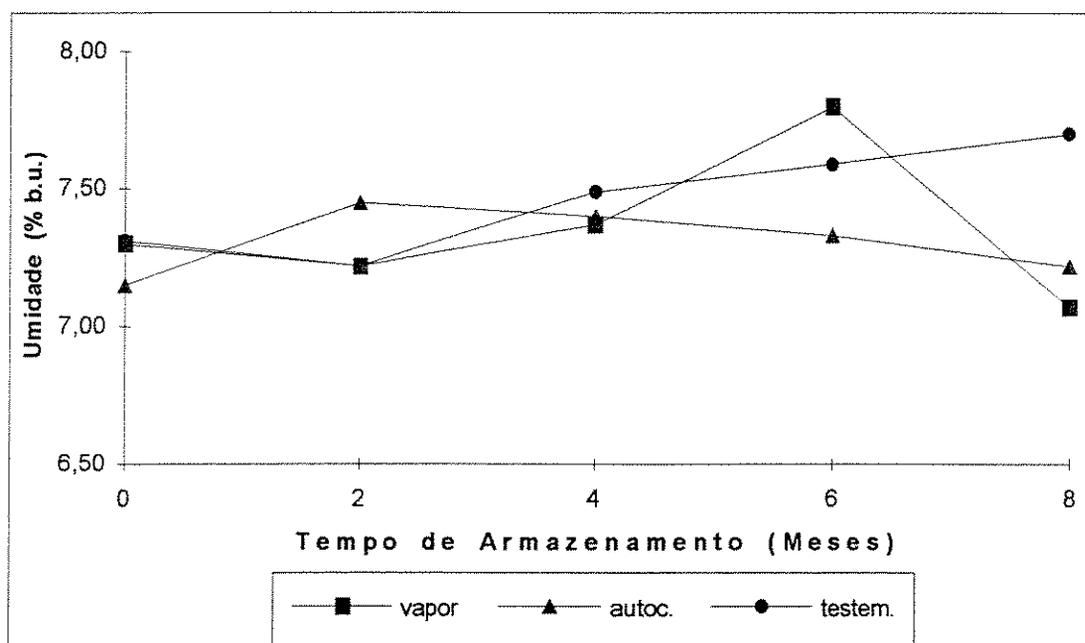


FIGURA 07- Variação do teor de umidade dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*), variedade Carioca, armazenados em vidros a 7% de umidade **sem** aeração.

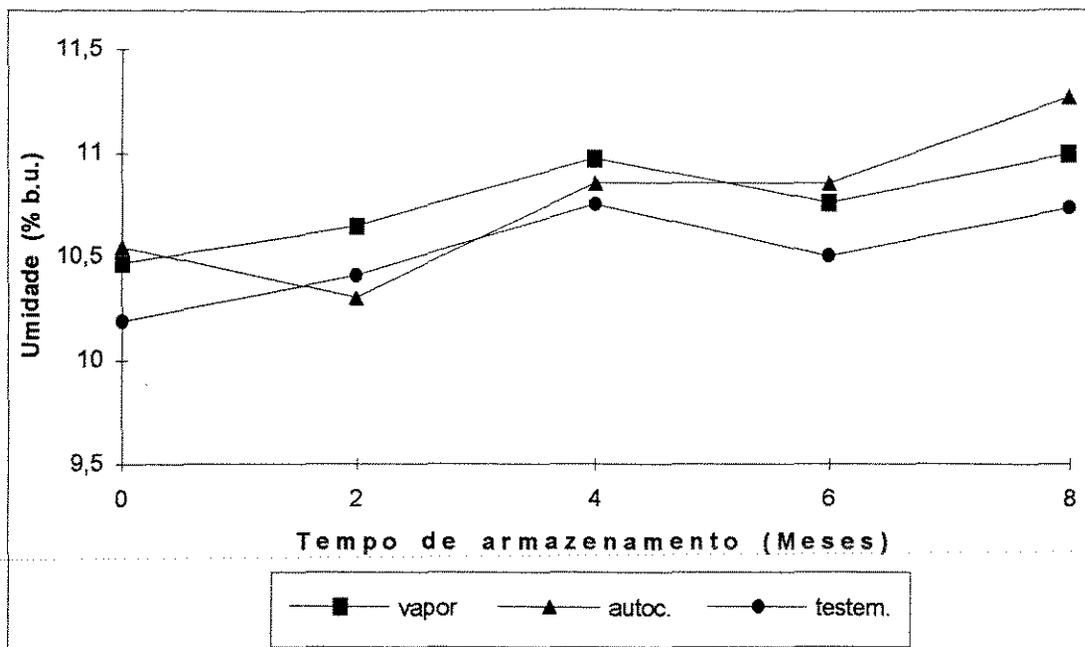


FIGURA 08- Variação do teor de umidade dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*), variedade Carioca, armazenados em vidros a 10% de umidade **com aeração**.

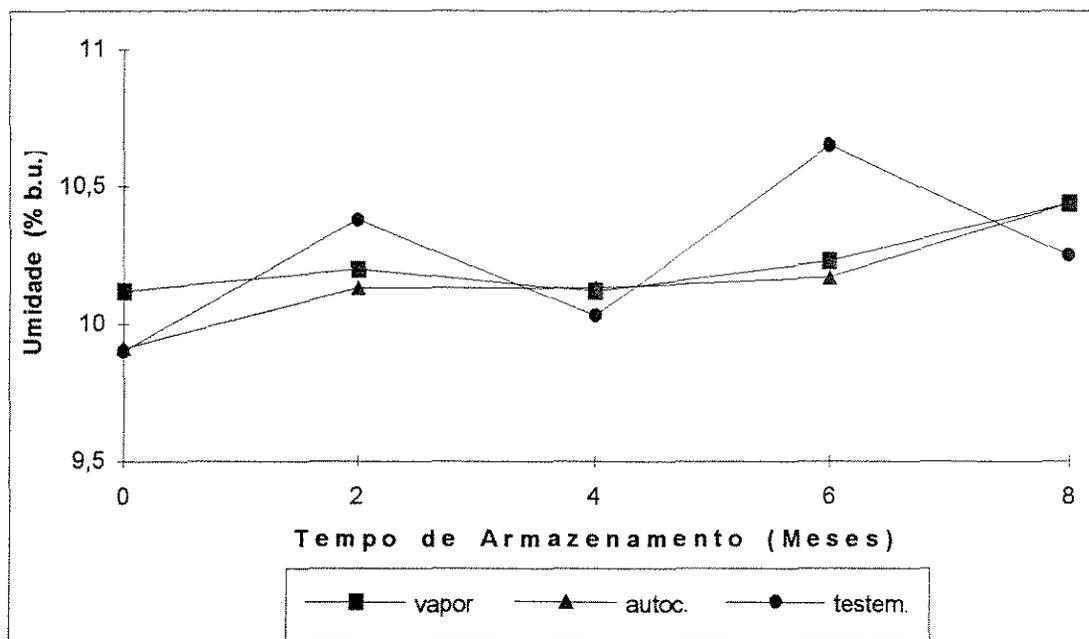


FIGURA 09- Variação do teor de umidade dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*), variedade Carioca, armazenados em vidros a 10% de umidade **sem aeração**.

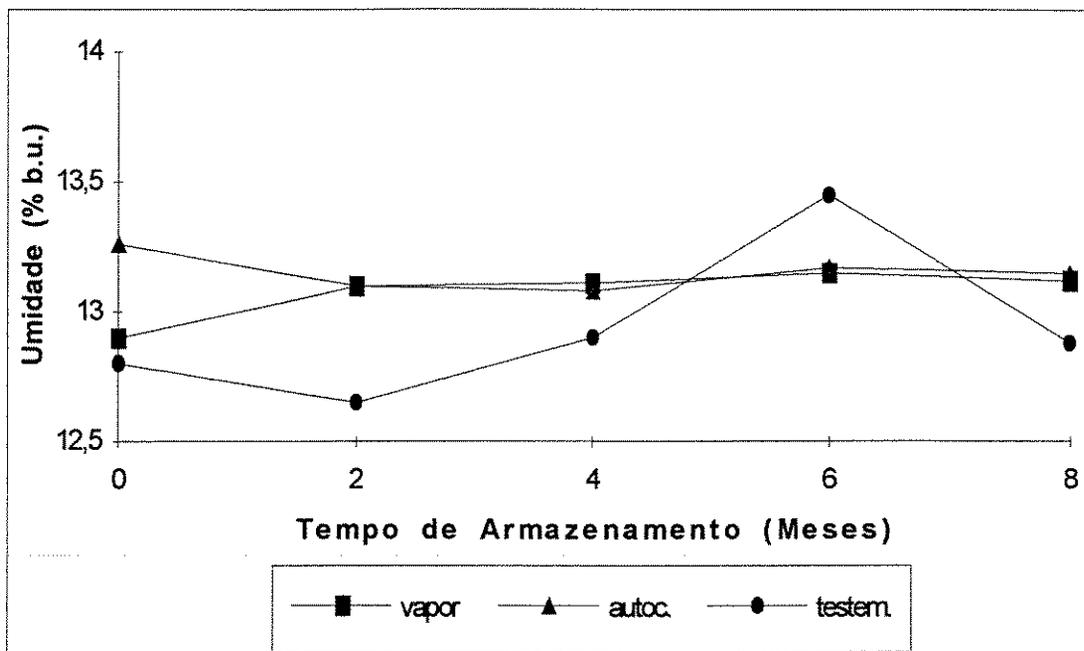


FIGURA 10- Variação do teor de umidade dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*), variedade Carioca, armazenados em vidros a 13% de umidade **com** aeração.

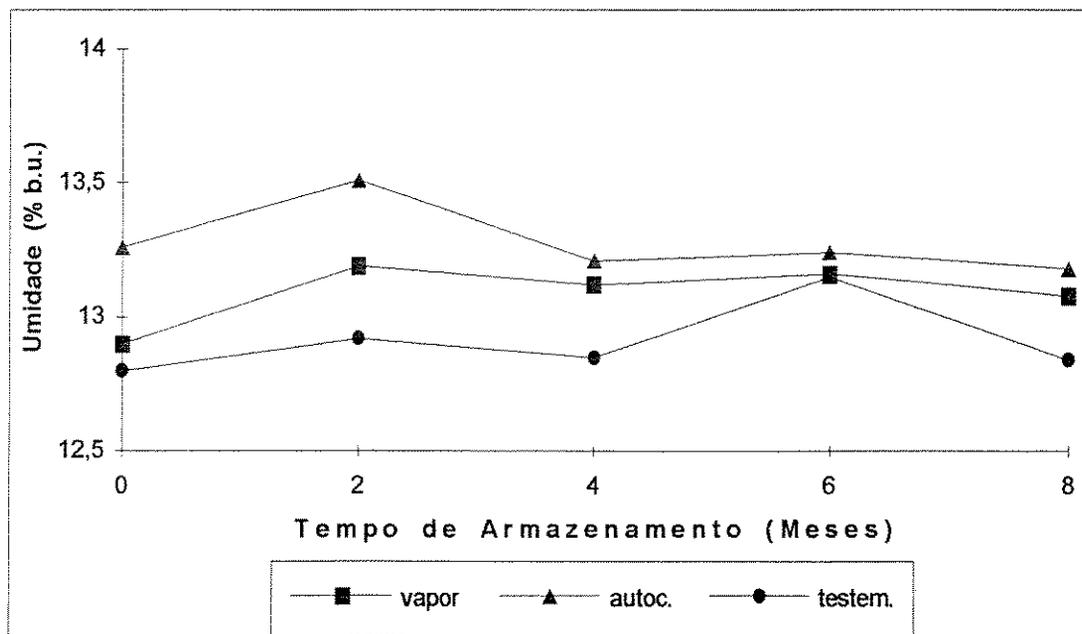


FIGURA 11- Variação do teor de umidade dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*), variedade Carioca, armazenados em vidros a 13% de umidade **sem** aeração.

TABELA 2 - Valores médios de tempo de cocção (minutos) dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*) armazenados nas diferentes combinações dos tratamentos estudados.

TRATAMENTO	UMIDADE	AERAÇÃO	PERÍODO DE ARMAZENAGEM (MESES)				
			0	2	4	6	8
VAPOR	7 %	c/aer.	83	138	200	269	209
		s/aer.	83	183	94	192	244
	10 %	c/aer.	60	100	157	280	546
		s/aer.	155	201	192	299	365
	13 %	c/aer.	85	181	228	611	2340
		s/aer.	85	139	133	404	1300
AUTOCLAVE	7 %	c/aer.	31	46	36	66	240
		s/aer.	31	45	43	130	128
	10 %	c/aer.	39	49	47	122	275
		s/aer.	56	63	62	98	267
	13 %	c/aer.	49	69	153	552	1105
		s/aer.	49	83	67	442	552
TESTEMUNHA	7 %	c/aer.	36	54	39	46	59
		s/aer.	36	45	43	77	78
	10 %	c/aer.	43	37	50	45	72
		s/aer.	48	44	57	62	75
	13 %	c/aer.	57	60	55	214	255
		s/aer.	57	60	75	207	280

TABELA 3 - Análise de variância relativa ao efeito da umidade, tratamento térmico, tempo de armazenamento e aeração sobre o tempo de cocção de feijão (*Phaseolus vulgaris*).

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F
T. TÉRM.	2	2645799,4888889	1322899,7444444	33,3937**
UMIDADE	2	2830500,5555556	1415250,2777778	33,7249**
AERAÇÃO	1	140858,8481481	140858,8481481	3,5557 ^{ns}
TEMPO	4	6136829,0888889	1534207,2722222	38,7277**
T. TÉRM.*UMI.	4	751826,2222222	187956,5555556	4,7446**
T. TÉRM.*AER.	2	119503,0296296	59751,5148148	1,5083 ^{ns}
T. TÉRM.*TEM.	8	2557970,7333333	319746,3416667	8,0713**
UMI.*AER.	2	294796,2740741	147398,1370370	3,7207*
UMI.*TEM.	8	5048135,7777778	631016,9722222	15,9287**
AER.*TEM.	4	431838,3925926	107959,5981481	2,7252*
T. TÉR*UMI*AER	4	188157,6148148	47039,4037037	1,1874 ^{ns}
T. TÉR*AER*TEM	8	302984,2296296	37873,0287037	0,9560 ^{ns}
UMI*AER*TEM	8	468053,3185185	58506,6648148	1,4769 ^{ns}
T. TÉR*UMI*AER*TEM	16	387430,1259259	24214,3828704	0,6112 ^{ns}
RESÍDUO	196	7764579,0000000	39615,1989796	
TOTAL	269	30069262,7000000		

** = Significativo ao Nível de 1%

* = Significativo ao Nível de 5%

^{ns} = Não Significativo

Pode-se afirmar também que a aeração não foi significativa, não exercendo portanto influência no processo de endurecimento do produto. As interações triplas não foram significativas, o mesmo ocorrendo com a interação quádrupla, o que demonstra que não houve interferência conjunta dos fatores nos resultados dos testes de cozinhabilidade.

Quanto às interações entre dois fatores, os resultados estatísticos detectaram interação altamente significativa entre os fatores: **Tratamento térmico versus Umidade**, **Tratamento térmico versus Tempo de armazenamento e Umidade versus Tempo de armazenamento**.

As interações duplas que envolvem o fator Aeração (Umidade e Tempo de armazenagem com Aeração) demonstraram ser as menos importantes uma vez que ficaram com valores próximos do limite sendo que a interação Tratamento térmico versus Aeração nem sequer foi significativa.

A tabela 4 apresenta a comparação de médias de tempo de cocção realizada pelo teste de Tukey para cada tratamento térmico dentro de cada nível de umidade.

TABELA 4 - Comparação de médias de tempo de cocção realizada pelo teste de Tukey para cada tratamento térmico dentro de cada nível de umidade

Tratamento Térmico	Nível de Umidade		
	7%	10%	13%
Vapor	170 aB	235 aB	550 aA
Autoclave	79 aB	108 bB	312 bA
Testemunha	51 aA	53 bA	132 cA

→ Os valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

De acordo com os resultados, observa-se que a 7% de umidade não houve diferença significativa entre os tratamentos térmicos Vapor, Autoclave e Testemunha, embora em termos numéricos o tempo de cozimento das amostras testemunha representasse um terço do valor do tempo de cozimento das amostras tratadas com vapor. No entanto, a 10 e 13% de umidade, o feijão tratado com vapor mostrou-se mais duro, apresentando um valor médio de tempo de cocção bem superior às demais amostras. Para o feijão armazenado a 13% de umidade, os grãos não tratados termicamente (testemunha) foram os mais macios enquanto que para o feijão estocado a 10%, a testemunha foi equivalente aos grãos tratados em autoclave.

Estes resultados são discordantes dos obtidos por MOLINA et al (1976), que encontraram que feijões tratados termicamente em vapor por dez minutos ou em autoclave por dois minutos, mantiveram uma textura equivalente a das amostras armazenadas sob refrigeração.

Através da análise das médias (Tabela 4), observa-se ainda que para a amostra testemunha, os tempos de cozimento relativos aos três níveis de umidade de armazenamento (7, 10 e 13%) não diferiram estatisticamente entre si, embora o tempo de cozimento dos grãos estocados a 13% de umidade (132 min) representasse mais do que o dobro do tempo de cozimento das amostras estocadas a 7% (51 min) e 10% (53 min). Considerando-se os tratamentos térmicos Vapor e autoclave, verificou-se que os grãos armazenados a 7 e 10% não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% entre os respectivos tempos de cozimento e se mostraram estatisticamente mais macios que os produto estocado a 13% de umidade.

Estes resultados concordam com os encontrados por diversos pesquisadores que afirmam que um aumento gradual no teor de umidade de armazenagem causa um decréscimo na cozinhabilidade dos grãos (MORRIS, WOOD, 1956; MUNETA, 1964; BURR et al, 1968 e MOLINA et al, 1975).

A Tabela 5 mostra a comparação de médias de tempo de cocção realizada através do teste de Tukey para cada tratamento térmico no decorrer da armazenagem.

TABELA 5 - Comparação de médias de tempo de cocção realizada pelo teste de Tukey para cada tratamento térmico no decorrer do período de armazenagem.

Tempo de Armazenamento	Tratamento Térmico		
	Vapor	Autoclave	Testemunha
Mês 0	92 cA	43 cA	46 aA
Mês 2	157 cA	59 bcA	50 aA
Mês 4	167 bcA	59 bcA	50 aA
Mês 6	342 bA	235 bAB	109 aB
Mês 8	834 aA	428 aB	136 aC

→Os valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Pela análise das médias, nota-se que até o quarto mês de armazenamento, os grãos tratados e não tratados termicamente não diferiram estatisticamente entre si com relação ao tempo de cozimento. Vale ressaltar, no entanto, que mesmo antes da estocagem os valores de tempo de cocção das amostras tratadas com vapor (92 min) representaram aproximadamente o dobro dos valores de tempo de cocção das

amostras autoclave (43 min) e testemunha (46 min). Já no segundo e no quarto mês, o tempo de cozimento da amostra tratada com vapor era aproximadamente três vezes maior que o tempo de cozimento da amostra não tratada.

A partir do sexto mês de armazenagem, o tratamento vapor apresentou um valor de tempo de cocção significativamente superior ao das amostras não tratadas, mostrando-se não apenas ineficaz na prevenção do endurecimento de feijões mas também agente acelerador do desenvolvimento da dureza, contrariando os resultados encontrados por MOLINA et al (1976). Nesse mesmo período, os grãos submetidos ao tratamento em autoclave tiveram valores de tempo de cozimento situados entre os valores das duas outras amostras. Ao final da armazenagem, a magnitude da diferença entre o tratamento vapor e a testemunha foi muito acentuada, de forma que o tratamento autoclave diferiu estatisticamente de ambos.

Os resultados estatísticos de média da Tabela 5, revelam ainda que a cozinhabilidade das amostras testemunhas não diferiu significativamente ao longo do período de armazenagem ao nível de 5%. Vale salientar que, nesse mesmo tratamento, os valores de tempo de cocção dos quatro primeiros meses foram numericamente semelhantes, porém a partir do sexto mês o tempo de cozimento tornou-se aproximadamente duas vezes maior.

O endurecimento significativo das amostras tratadas termicamente (vapor e autoclave) iniciou-se após o quarto mês de estocagem. Ambas as amostras atingiram seu valor máximo de dureza ao fim do período de armazenamento, apresentando um tempo de cozimento significativamente superior em relação a qualquer período anterior.

Verificou-se que todos os feijões tratados e não tratados foram susceptíveis ao processo de endurecimento durante o período de armazenagem, porém com diferentes intensidades. Nos grãos não tratados (testemunha) ocorreu um leve endurecimento quando comparado aos grãos tratados em autoclave e principalmente quando comparado aos grãos tratados com vapor, nos quais o endurecimento foi de maior magnitude e ocorreu de forma abrupta. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por diversos pesquisadores que afirmam que o fenômeno de endurecimento de leguminosas desenvolve-se com o tempo de armazenagem (MORRIS, WOOD, 1956; MUNETA, 1964; BURR et al, 1968; MOLINA et al, 1975; DURIGAN, 1979; MOSCOSO et al, 1984; MAFULEKA et al, 1991).

A Tabela 6 apresenta a comparação de médias de tempo de cocção pelo teste de Tukey para cada nível de umidade no transcorrer da armazenagem.

TABELA 6 - Comparação de médias de tempo de cocção realizada pelo teste de Tukey para cada nível de umidade no decorrer do período de armazenagem.

Tempo de Armazenamento	Nível de Umidade		
	7%	10%	13%
Mês 0	50 aA	67 bA	64 cA
Mês 2	85 aA	82 bA	99 cA
Mês 4	76 aA	94 abA	118 cA
Mês 6	130 aB	151 abB	405 bA
Mês 8	160 aB	267 aB	972 aA

→Os valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A análise das médias demonstra que até o quarto mês de estocagem os diferentes níveis de umidade não exerceram influência significativa sobre o tempo de cozimento dos grãos. Após o quarto mês, os grãos com teor de umidade de 13% foram os mais afetados pelo endurecimento, destacando-se dos demais por um aumento significativo do seu tempo de cozimento. Os grãos armazenados a 7 e 10% de umidade se equivaleram estatisticamente. Esses resultados coincidem com os encontrados por MORRIS, WOOD (1956) quando observaram que conteúdos de umidade acima de 13% provocaram deterioração significativa na textura de feijões armazenados por seis meses a 25° C.

Nota-se ainda (Tabela 6), que a cozinhabilidade do produto mantido a 7% de umidade não diferiu no decorrer do período de estocagem ao nível de 5% de significância. Deve-se ressaltar, porém, que no último mês do experimento, o tempo médio de cocção das amostras a 7% (160 min) era aproximadamente três vezes superior ao seu tempo de cocção inicial (50 min). Para o produto mantido a 10% de umidade, o endurecimento significativo iniciou-se após o sexto mês de armazenagem, uma vez que os tempos de cozimento até então não apresentaram diferença significativa entre si. Já para o feijão armazenado a 13% de umidade, o processo de endurecimento mostrou-se significativo após o quarto mês, quando observou-se um abrupto endurecimento dos grãos e, no último período, esse fenômeno foi observado novamente.

Verificou-se que o endurecimento dos grãos procedeu-se em todos os níveis de umidade, porém com intensidades diferentes. Nos grãos mantidos a 7 e 10% de umidade ocorreu um leve e lento endurecimento quando comparado aos grãos armazenados a 13%, nos quais o endurecimento ocorreu de forma acentuada e súbita.

Esses resultados reafirmam as observações de vários pesquisadores que encontraram que o endurecimento do feijão é determinado pelo tempo de armazenamento e agravado por elevados valores de temperatura e umidade dos grãos (MORRIS, WOOD, 1956; BURR et al, 1968; DURIGAN, 1979; MOSCOSO et al, 1984; HINCKS, STANLEY, 1986).

É importante destacar que os elevados desvios encontrados para os resultados obtidos nos testes de cozinhabilidade são explicados, em grande parte, pela variação biológica do próprio feijão e pela utilização de valores estimados de tempo de cocção nos testes que superaram o limite de duração de cento e oitenta minutos. Este fato permite analisar os resultados estatísticos da análise de variância com as devidas ressalvas, relativas aos dados conclusivos de existência ou não de diferenças significativas entre os fatores, nas diversas condições e tratamentos. Dessa forma podemos analisar os resultados considerando além do resultado estatístico, a possível existência de tendências para os dados obtidos:

- A tendência observada para os dados experimentais de tempo de cocção do feijão com relação ao fator Tratamento térmico foi em ordem decrescente, VAPOR > AUTOCLAVE > TESTEMUNHA, nos vários níveis de umidade e períodos de armazenagem.

- A tendência observada para os dados experimentais de tempo de cocção do produto com relação ao fator Umidade foi em ordem decrescente, 13% > 10% > 7%, para os tratamentos térmicos estudados (Vapor e Autoclave), a partir do quarto mês de armazenagem.

As Figuras 12 a 17 mostram os efeitos do tempo e das condições de armazenamento sobre o tempo de cozimento dos grãos de feijão tratados termicamente (Vapor e Autoclave) e não tratados (Testemunha), armazenados durante oito meses nas condições de aeração e não aeração, respectivamente.

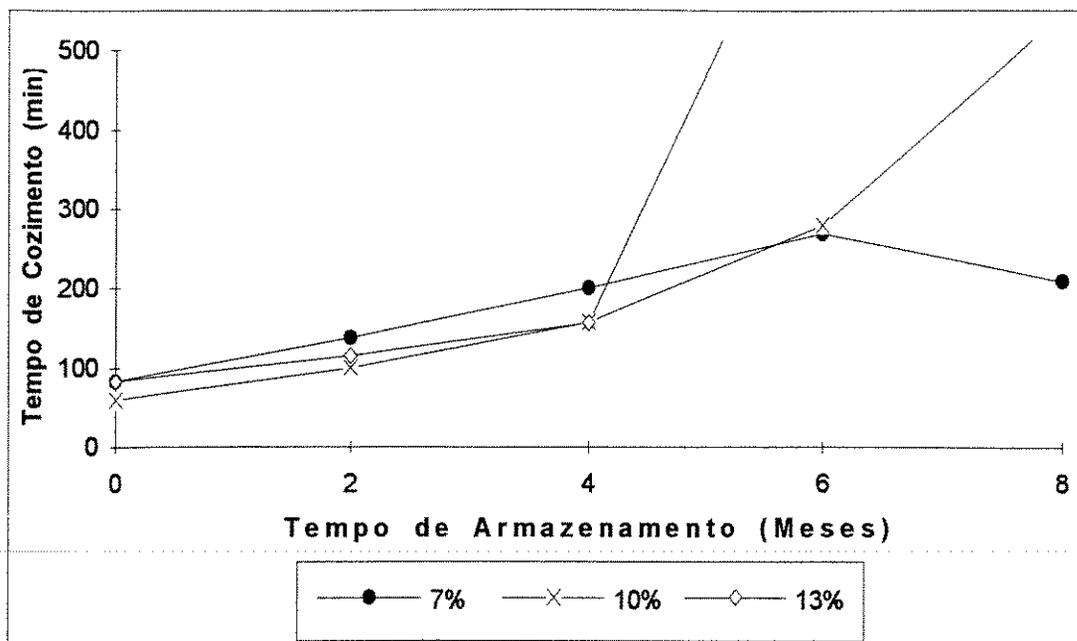


FIGURA 12 - Efeito do tempo e da umidade de armazenamento dos feijões (*Phaseolus vulgaris*) tratados com vapor e armazenados durante oito meses com aplicação de aeração

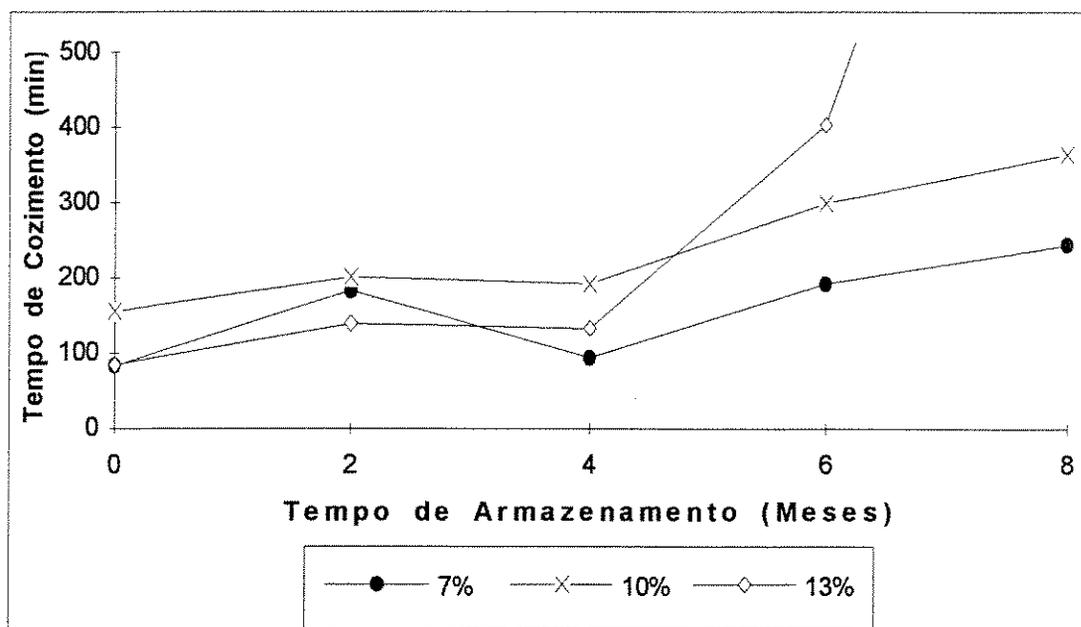


FIGURA 13 - Efeito do tempo e da umidade de armazenamento dos feijões (*Phaseolus vulgaris*) tratados com vapor e armazenados durante oito meses sem aplicação de aeração

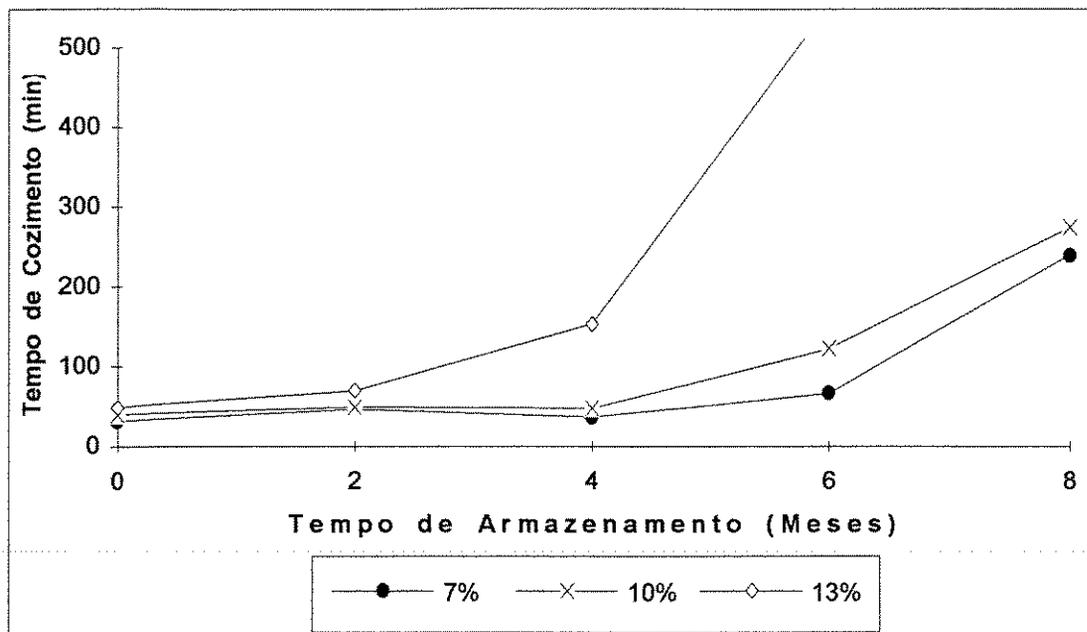


FIGURA 14 - Efeito do tempo e da umidade de armazenamento dos feijões (*Phaseolus vulgaris*) tratados com autoclave e armazenados durante oito meses com aplicação de aeração

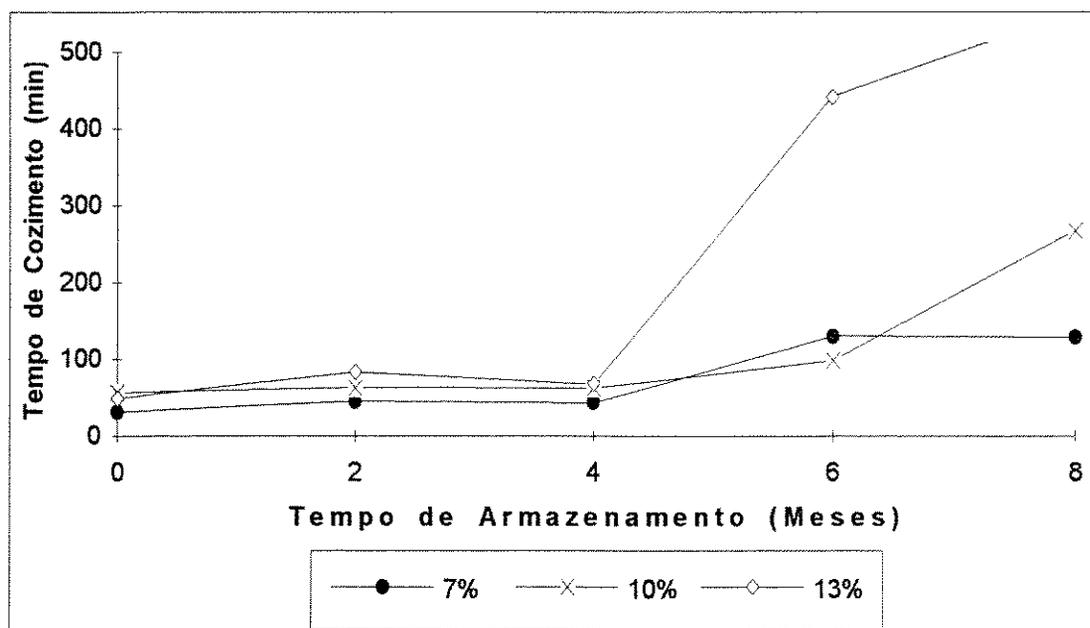


FIGURA 15 - Efeito do tempo e da umidade de armazenamento dos feijões (*Phaseolus vulgaris*) tratados com autoclave e armazenados durante oito meses sem aplicação de aeração

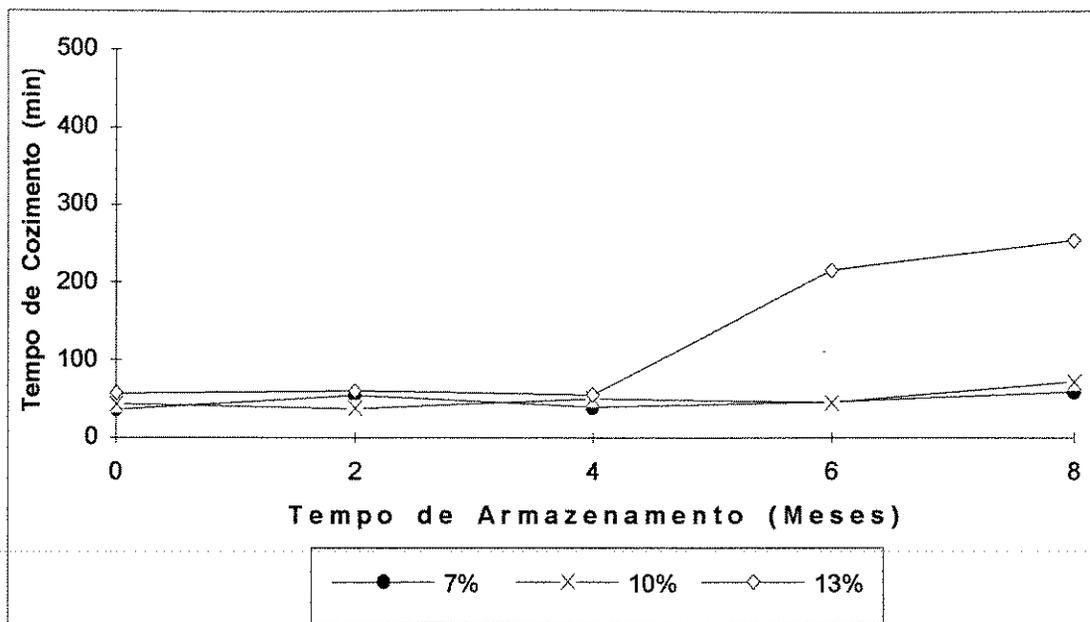


FIGURA 16 - Efeito do tempo e da umidade de armazenamento dos feijões (*Phaseolus vulgaris*) não tratados e armazenados durante oito meses com aplicação de aeração

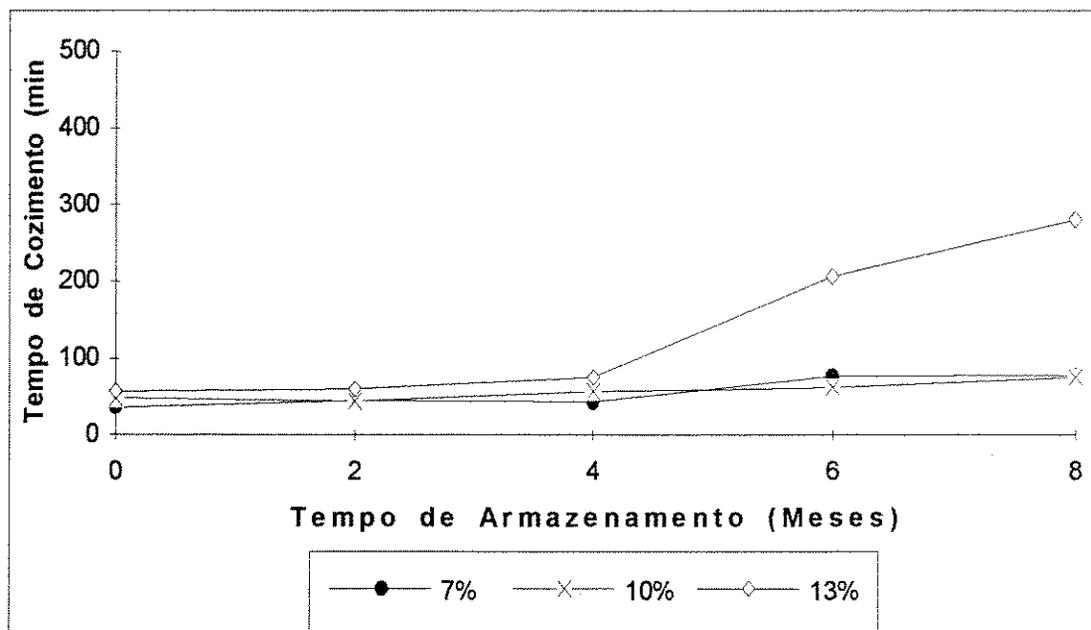


FIGURA 17 - Efeito do tempo e da umidade de armazenamento dos feijões (*Phaseolus vulgaris*) não tratados e armazenados durante oito meses sem aplicação de aeração

Para as interações envolvendo o fator Aeração (Umidade e Tempo de armazenamento com Aeração), verificou-se pelo teste de Tukey (Tabela 7), que somente os feijões estocados a 13% de umidade apresentaram diferença significativa de tempo de cozimento entre as condições de aeração e não aeração, resultando que os grãos submetidos à aeração foram mais resistentes ao cozimento. Em relação ao período de armazenamento, o teste de Tukey (Tabela 8) revelou que somente no oitavo mês houve diferença entre as condições de aeração e não aeração, com os grãos aerados mostrando-se novamente mais duros com relação aos não aerados.

TABELA 7 - Comparação de médias de tempo de cocção realizada pelo teste de Tukey para cada nível de umidade nas condições de aeração e não aeração

Aeração	Nível de Umidade		
	7%	10%	13%
Com Aeração	103 aB	128 aB	401 aA
Sem Aeração	97 aB	136 aB	262 bA

→Os valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

TABELA 8 - Comparação de médias de tempo de cocção realizada pelo teste de Tukey para as condições de aeração e não aeração no decorrer do período de armazenagem.

Tempo de Armazenamento	Aeração	
	Com Aeração	Sem Aeração
Mês 0	54 cA	67 bA
Mês 2	81 cA	96 bA
Mês 4	107 cA	85 bA
Mês 6	245 bA	212 bA
Mês 8	567 aA	366 aB

→Os valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Dessa forma, a aeração demonstrou ser prejudicial à cozinhabilidade dos grãos de feijão apenas no oitavo mês de armazenagem e no nível de 13% de umidade.

4.3. Testes de Compressão

A Tabela 9 apresenta os valores médios de deformação gráfica (não transformada) obtidos nos testes de compressão para as combinações de tratamentos estudadas.

TABELA 9- Valores médios de deformação gráfica (mm) (não transformada) obtidos nos testes de compressão dos grãos de feijão "*in natura*", armazenados nas diferentes combinações de tratamentos estudadas

TRATAMENTO	UMIDADE	AERAÇÃO	PERÍODO DE ARMAZENAGEM (MESES)			
			0	2	4	6
VAPOR	7 %	c/aer.	5,43	5,57	5,58	5,18
		s/aer.	5,43	5,33	5,03	5,40
	10 %	c/aer.	5,98	8,97	6,75	6,12
		s/aer.	5,98	6,13	6,65	6,55
	13 %	c/aer.	7,93	8,15	9,15	9,90
		s/aer.	7,93	7,87	8,90	9,80
AUTOCLAVE	7 %	c/aer.	5,70	5,52	5,70	5,88
		s/aer.	5,70	5,75	5,78	6,03
	10 %	c/aer.	5,52	5,53	6,35	6,37
		s/aer.	5,52	6,18	7,13	6,97
	13 %	c/aer.	7,95	8,22	8,02	9,27
		s/aer.	7,95	8,30	8,33	8,30
TESTEMUNHA	7 %	c/aer.	5,57	5,57	5,55	5,50
		s/aer.	5,57	5,52	5,57	5,47
	10 %	c/aer.	4,90	5,08	5,80	5,78
		s/aer.	4,90	5,80	5,92	5,83
	13 %	c/aer.	7,57	7,92	7,83	9,62
		s/aer.	7,57	7,50	7,45	8,15

Conforme citado anteriormente, o aparelho utilizado para os testes de compressão (O.T.M.S.) ficou inativo por um período, devido a falhas no seu mecanismo, impedindo a avaliação das combinações relativas ao último mês de armazenagem.

Realizou-se, então, uma análise de variância dos resultados obtidos durante seis meses de armazenamento, através da qual verificou-se que o processo de endurecimento dos grãos é função dos tratamentos térmicos, da umidade e do tempo de armazenagem, uma vez que essas causas de variação apresentaram diferença significativa ao nível de 1%, e não é função da aeração (Tabela 10).

Apesar de algumas interações triplas terem sido significativas (Tratamento térmico *versus* Umidade *versus* Tempo) e (Umidade *versus* Aeração *versus* Tempo), não foram analisadas por serem de complexa interpretação e se mostrarem de reduzida importância para os objetivos do presente trabalho.

TABELA 10 - Análise de variância relativa ao efeito da umidade, tratamento térmico, tempo de armazenamento e aeração sobre a deformação gráfica (não transformada) dos testes de compressão de feijão (*Phaseolus vulgaris*) "in natura"

CAUSAS DA VARIAÇÃO	G.L.	S.Q.	Q.M.	Valor F
T. TÉRM.	2	9,1728363	4,5864182	83,2464**
UMIDADE	2	318,0936562	159,0468281	2886,8011**
AERAÇÃO	1	0,0005955	0,0005955	0,0108 ^{ns}
TEMPO	3	17,0644414	5,6881471	103,2435**
T. TÉRM. *UMI.	4	8,0431332	2,0107873	36,4970**
T. TÉRM. *AER.	2	0,8318349	0,4159174	7,5492**
T. TÉRM. *TEM.	6	0,7035482	0,1172580	2,1283 ^{ns}
UMI. *AER.	2	2,8929455	1,4464727	26,2544**
UMI. *TEM.	6	13,6299310	2,2716552	41,2320**
AER. *TEM.	3	0,3027369	0,1009123	1,8316 ^{ns}
T. TÉR*UMI*AER	4	0,5798319	0,1449580	2,6311 *
T. TÉR*UMI*TEM	12	5,5993716	0,4666143	8,4693**
UMI*AER*TEM	6	2,2856636	0,3809439	6,9144**
T. TÉR*UMI*AER*TEM	12	0,5665577	0,0472131	0,8569 ^{ns}
RESÍDUO	150	8,2641732	0,0550945	
TOTAL	215	388,0312571		

** = Significativo ao Nível de 1%

* = Significativo ao Nível de 5%

^{ns} = Não Significativo

Com relação às interações entre dois fatores, foram detectadas interações altamente significativas entre os fatores: **Tratamento térmico versus Umidade, Tratamento térmico versus Aeração, Umidade versus Aeração e Umidade versus Tempo de armazenamento.** Não foram significativas as interações entre Tratamento térmico e Aeração com Tempo de armazenamento. As interações duplas significativas foram submetidas à comparação de médias pelo teste de Tukey.

A Tabela 11 apresenta a comparação de médias de deformação gráfica (não transformada) realizada pelo teste de Tukey para cada tratamento térmico dentro de cada nível de umidade.

TABELA 11 - Comparação de médias de deformação gráfica (não transformada) dos testes de compressão, realizada pelo teste de Tukey para cada tratamento térmico dentro de cada nível de umidade

Tratamento Térmico	Nível de Umidade		
	7%	10%	13%
Vapor	5,37 bC	6,27 aB	8,70 aA
Autoclave	5,76 aC	6,20 aB	8,30 bA
Testemunha	5,54 bB	5,50 bB	7,95 cA

→Os valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Pela análise das médias, observa-se que para todos os tratamentos térmicos, o feijão armazenado com nível de umidade de 13% foi o que apresentou maior deformação em decorrência da força de compressão aplicada, mostrando-se portanto menos duro que os demais, seguido dos níveis 10 e 7% e todos foram diferentes entre si ao nível de 1% de significância, com exceção dos feijões não tratados, em que os grãos armazenados a 7 e 10% se equivaleram estatisticamente. Estes resultados revelam que os feijões estocados com maior teor de umidade se apresentam menos firmes "in natura" e estão de acordo com os encontrados por JORGE (1977) que afirma que os valores de deformação do teste de compressão são influenciados pelo conteúdo de umidade do produto, de forma que amostras mais úmidas são menos resistentes à deformação.

Nota-se ainda que a todos os níveis de umidade, os grãos não tratados termicamente (testemunhas) foram os mais rijos, apresentando os menores valores de deformação. No nível de umidade de 7%, as amostras tratadas com vapor se equivaleram estatisticamente às testemunhas. As amostras de menor dureza para cada teor de umidade foram as submetidas aos seguintes tratamentos térmicos:

- 7% - Autoclave
- 10% - Vapor e Autoclave
- 13% - Vapor

A Tabela 12 mostra a comparação de médias de deformação gráfica (não transformada) realizada pelo teste de Tukey para cada tratamento térmico nas condições de aeração e não aeração.

TABELA 12 - Comparação de médias de deformação gráfica (não transformada) dos testes de compressão, realizada pelo teste de Tukey para cada tratamento térmico nas condições de aeração e não aeração.

Aeração	Tratamento Térmico		
	Vapor	Autoclave	Testemunha
Com Aeração	6,81 aA	6,67 bA	6,39 aB
Sem Aeração	6,75 aA	6,84 aA	6,27 aB

→Os valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

A análise das médias demonstra que para as duas condições de aeração e não aeração os feijões não tratados (testemunha) apresentaram valores de deformação significativamente inferiores aos dos tratamentos vapor e autoclave, os quais não diferiram entre si.

Os resultados revelam ainda que para ambas as amostras tratadas com vapor e não tratadas, a aplicação de aeração não teve nenhum efeito significativo na textura dos

grãos "in natura" ao nível de 1% , enquanto que para as amostras tratadas com autoclave a aplicação de aeração reduziu a deformação dos grãos.

A Tabela 13 mostra a comparação de médias de deformação gráfica (não transformada) realizada pelo teste de Tukey para as condições de aeração e não aeração em cada nível de umidade.

TABELA 13 - Comparação de médias de deformação gráfica (não transformada) dos testes de compressão, realizada pelo teste de Tukey para cada nível de umidade nas condições de aeração e não aeração.

Aeração	Nível de Umidade		
	7%	10%	13%
Com Aeração	5,56 aC	5,85 bB	8,46 aA
Sem Aeração	5,55 aC	6,13 aB	8,18 bA

→Os valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Pela análise das médias nota-se que para as duas condições de aeração e não aeração, os feijões armazenados com teor de umidade de 13% apresentaram os valores de deformação mais elevados, mostrando-se portanto menos rijos, seguido dos níveis de 10 e 7% de umidade, de

forma que todos diferiram entre si ao nível de 1% de significância.

Nota-se ainda que a aplicação de aeração não teve efeito significativo na deformação dos grãos armazenados a 7% de umidade, enquanto que para os grãos estocados a 10 e 13% de umidade, a aplicação de aeração teve como consequência valores inferiores e superiores de deformação, respectivamente.

A Tabela 14 apresenta a comparação de médias de deformação gráfica (não transformada) realizada pelo teste de Tukey para cada nível de umidade no transcorrer do período de armazenamento.

A análise das médias demonstra que os grãos armazenados a 13% de umidade tiveram novamente os maiores valores de deformação em todos os períodos de armazenagem, seguidos dos grãos estocados a 10 e 7% e todos foram diferentes entre si, exceto no início do experimento (mês 0), quando as deformações a 10 e 7% se equivaleram estatisticamente ao nível de significância de 1%.

TABELA 14 - Comparação de médias de deformação gráfica (não transformada) dos testes de compressão, realizada pelo teste de Tukey para cada nível de umidade no decorrer do período de armazenagem.

Tempo de Armazenamento	Nível de Umidade		
	7%	10%	13%
Mês 0	5,57 aB	5,47 cB	7,82 cA
Mês 2	5,54 aC	5,78 bB	7,99 cA
Mês 4	5,54 aC	6,43 aB	8,28 bA
Mês 6	5,58 aC	6,27 aB	9,19 aA

→Os valores seguidos pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e pelas mesmas letras maiúsculas nas linhas não diferem significativamente entre si ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observa-se também que a textura dos grãos crus armazenados a 7% de umidade não se alterou significativamente no decorrer da armazenagem enquanto que nos grãos armazenados a 10 e 13% de umidade, verificou-se um aumento significativo nos valores de deformação, o que sugere que houve um certo amolecimento dos grãos "in natura" ao longo do período de armazenamento. Não foram encontrados elementos que justificassem tal comportamento da textura dos feijões "in natura". Entretanto, há fatores que não foram objetos desta pesquisa e que poderiam, talvez, contribuir para a compreensão do fenômeno, como por exemplo, possíveis reações químicas ocorridas durante a armazenagem.

4.4. Relação entre a avaliação de textura dos grãos crus e cozidos

Em todas as interações que envolvem o fator Umidade, verifica-se que as amostras armazenadas com teores de umidade mais elevados apresentaram textura menos firmes quando avaliadas "in natura" pelo teste de compressão e, no entanto, se mostraram mais rijas ao se avaliar a sua cozinhabilidade, sendo necessário um tempo de cozimento maior para se atingir uma dada maciez. Constata-se assim que, no que se refere aos teores de umidade de armazenamento investigados, houve um comportamento inverso entre a textura dos grãos crus determinada pelo teste de compressão e a textura dos grãos cozidos detectada nos testes de cozinhabilidade.

Um costume bastante difundido na população brasileira é o de verificar, subjetivamente, a firmeza do grão antes de adquirir o produto, comprimindo-o com a unha ou entre os dentes. De acordo com o critério associado com esta prática, grãos menos firmes são considerados novos e de mais fácil cozimento.

Considerando-se grãos armazenados com diferentes teores de umidade, sem aplicação de tratamento térmico ou aeração, os resultados do presente trabalho indicam que, se houvesse um critério para se diferenciar

amostras quanto a sua cozinhabilidade a partir da avaliação da textura dos grãos "*in natura*", este seria inverso ao comumente adotado por muitos consumidores, pois os grãos mais duros (devido ao reduzido teor de umidade) são os que se mostram mais macios após um certo tempo de cozimento, conforme foi verificado nos resultados do teste de cozinhabilidade. Neste caso, a avaliação da textura do produto cru poderia também ser substituída pela simples determinação do teor de umidade, de modo que, a teores de umidade mais elevados correspondem cozinhabilidades mais reduzidas.

Na faixa de umidade estudada, deve-se ressaltar ainda que a textura dos grãos "*in natura*" é função do teor de umidade na ocasião da sua avaliação, enquanto que a cozinhabilidade dos grãos é função do teor de umidade do produto a partir do quarto mês de armazenagem até o momento do seu preparo. Considerando-se grãos armazenados e posteriormente colocados no mercado varejista para aquisição pelos consumidores, a textura dos grãos crus não fornece subsídio para se estimar sua cozinhabilidade com relação a outras amostras. Estes resultados são semelhantes aos encontrados por SEFA-DEDEH et al (1978) que, quando trabalhando com ervilhas, observaram que a textura dos grãos cozidos não poderia ser estimada a partir da textura dos grãos crus. Resultados divergentes foram obtidos por ANZALDUA-MORALES, BRENNAN (1982), que encontraram que as

características texturais de feijões processados termicamente foram diretamente relacionadas às propriedades mecânicas dos grãos "in natura".

Nas interações que envolvem o fator tratamento térmico, observou-se que os grãos não tratados termicamente (testemunhas) se mostraram mais duros quando avaliados "in natura", entretanto apresentaram uma textura mais macia ao terem a sua cozinhabilidade determinada. Para os tratamentos térmicos vapor e autoclave encontrou-se comportamentos diversos entre as texturas dos feijões crus e cozidos, nas condições estudadas.

Para as outras interações existentes, os comportamentos dos resultados das avaliações da textura dos feijões crus e cozidos foram também distintos e variáveis, indicando não haver relação alguma entre ambas.

5. CONCLUSÕES

- Recomenda-se que feijões com teor de umidade de 13% sejam armazenados por um período máximo de quatro meses. Após o quarto mês de armazenamento, a umidade de 13% destacou-se como sendo a pior com o transcorrer do período de armazenagem, contribuindo de forma mais intensa que as demais para o decréscimo na cozinhabilidade do feijão.
- A qualidade de textura dos grãos de feijão cozidos foi melhor preservada quando armazenados com níveis de umidade de 7 ou 10%, sem aplicação de tratamento térmico e independente da presença ou não de ar ambiente.
- Os tratamentos térmicos vapor e autoclave foram prejudiciais à cozinhabilidade dos grãos de feijão, efeito este intensificado com o acréscimo do teor de umidade assim como com o decorrer do período de armazenagem.

- O tempo de armazenamento exerceu uma influência diretamente proporcional ao endurecimento do produto, com relação a todos os outros fatores analisados.
- A aeração não influi na cozinhabilidade dos grãos, com exceção dos feijões armazenados a 13% de umidade e do oitavo mês de armazenagem.
- Na faixa de umidade investigada, a textura dos feijões "*in natura*" é influenciada pelo seu teor de umidade, de modo que a conteúdos de umidade mais altos correspondem grãos de menor dureza.
- Nas condições estudadas que envolvem a presença de ar ambiente, tratamento térmico e período de armazenagem, a avaliação da textura dos grãos crus, pelo teste de compressão, não se mostrou adequada para distinguir a cozinhabilidade entre amostras.
- Considerando-se apenas o fator umidade, a textura dos grãos "*in natura*" apresenta comportamento inverso à textura dos grãos cozidos.

6. ANEXOS

Anexo 01 - Resultados dos testes de cozinhabilidade realizados com 3 repetições, tendo-se como parâmetro o tempo de cocção (minutos) dos grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris*) armazenados nas diferentes combinações dos tratamentos estudados.

TRATAM.	UMID.	AERAÇ.	PERÍODO DE ARMAZENAGEM (MESES)														
			Mês 0			Mês 2			Mês 4			Mês 6			Mês 8		
			Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.1	Rep.2	Rep.3	Rep.1	Rep.2	Rep.3
VAPOR	7 %	c/aer.	77	73	99	161	140	113	(12)	(10)	172	(07)	(11)	(09)	153	(11)	(09)
		s/aer.	77	73	99	(08)	160	98	75	111	97	(11)	(12)	167	(11)	(09)	(09)
	10 %	c/aer.	47	78	54	114	112	73	(09)	119	91	(08)	(07)	(11)	(04)	(05)	(04)
		s/aer.	95	180	190	(12)	(11)	(12)	(11)	(11)	150	(09)	(05)	170	119	(04)	(06)
	13 %	c/aer.	93	78	83	135	(08)	115	(12)	(07)	156	(05)	(04)	(03)	(00)	(01)	(00)
		s/aer.	93	78	83	169	156	93	180	115	104	(07)	(04)	(08)	(03)	(03)	(00)
AUTOCL.	7 %	c/aer.	32	26	35	42	42	53	34	39	35	83	44	71	126	(09)	(07)
		s/aer.	32	26	35	33	60	41	37	48	43	44	174	172	156	79	150
	10 %	c/aer.	47	31	40	45	46	57	43	59	39	118	105	143	144	(11)	(05)
		s/aer.	55	56	56	53	77	60	68	51	66	91	128	74	(10)	(10)	(07)
	13 %	c/aer.	50	59	39	52	71	85	80	165	(11)	(08)	(03)	(04)	(00)	(04)	(06)
		s/aer.	50	59	39	70	79	100	59	66	76	(07)	(11)	(03)	(08)	(03)	(04)
TESTEM.	7 %	c/aer.	37	36	36	55	58	48	33	46	37	44	55	38	45	58	73
		s/aer.	37	36	36	52	41	43	38	48	44	85	77	70	62	68	103
	10 %	c/aer.	39	41	48	37	42	32	54	45	50	47	52	37	79	63	75
		s/aer.	45	60	40	47	46	39	53	55	62	63	58	66	57	110	59
	13 %	c/aer.	55	61	56	41	80	59	62	54	48	(11)	(12)	(10)	(11)	(09)	(08)
		s/aer.	55	61	56	51	71	57	76	71	77	(12)	(11)	(11)	(11)	(07)	(08)

(n) - Referem-se ao número de feijões perfurados pelas hastes em 180 minutos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMS, M. W., BEDFORD, C. L. Breeding food legumes for improved processing and consumer acceptance properties. In: NUTRITIONAL IMPROVEMENT OF FOOD LEGUMES BY BREEDING, Symposium of the Protein Advisory Group of the United National System, 1972, Roma. Proceedings. New York : F.A.O., 1973. p. 75-84.
- AGUILERA, J. M., BALLIVIAN, A. A Kinetic interpretation of textural changes in black beans during prolonged storage. J. Food Sci., Chicago, v. 52, n. 3, p. 691- 695, 1987.
- AGUILERA, J. M., HAU, M. I., VILLABANCA, W. The effect of solar drying and heating on the hardness of Phaseolus vulgaris beans during storage. Journal of Stored Products Research, v. 22, n. 4, p. 243-247, 1986.
- AGUILERA, J. M., LUSAS, E. W., UEBERSAX, M. A. et al. Roasting of navy beans (Phaseolus vulgaris) by particle- to-particle heat transfer. J. Food Sci., Chicago, v. 47, p. 996-1000, 1982.
- AGUILERA, J. M., RIVERA, J. Storage and Hardening of black beans. J. Food Process. Preserv., Westport, v. 14, p. 423-435, 1990.

- AGUILERA, J. M., ROMAN, J., HOHLBERG, A. J. Engineering and quality aspects of particle-to-particle heat transfer to black beans. J. Food Process. Preserv., Westport, v. 11, n. 4, p. 263-276, 1987.
- AGUILERA, J. M., STANLEY, D. W. A review of textural defects in cooked reconstituted legumes - the influence of storage and processing. J. Food Process. Preserv., Westport, v. 9, p. 145-169, 1985.
- AGUILERA, J. M., STEINSAPIR, A. Dry Processes to retard quality losses of beans (Phaseolus vulgaris) during Storage. Can. Inst. Food Sci. Technol. J., Ottawa, v. 18, p. 72-78, 1985.
-
- ANTUNES, P. L., SGARBIERI, V. C. Influence of time and conditions of storage on technological and nutritional properties of a dry bean (Phaseolus vulgaris) variety "rosinha G.2." J. Food Sci., Chicago, v. 44, p. 1703-1706, 1979.
- ANZALDUA-MORALES, A., BRENNAN, J. G. Relationship between the physical properties of dried beans and their textural characteristics after processing. J. Texture Studies, v. 13, p. 229-240, 1982.
- ASAE STANDARDS: ASAE S 368.1. Compression tests of food materials of convex shape. American Society of Agricultural Engineers, St. Joseph, MI, p. 368-371, 1989.
- AYKROYD, W. R., DOUGHTY, J. Legumes in human nutrition. Rome. Nutritional Studies, F.A.O., v. 19, p. 1-21, 1964.
- BENEDETTI, Benedito Carlos. Influência do teor de umidade sobre propriedades físicas de vários grãos. Campinas : UNICAMP, 1987. 125 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1987.
- BOURNE, M. C. Measure of shear and compression components of puncture tests. J. Food Sci., Chicago, v. 31, n. 2, p. 252-291, 1966.

- BOURNE, M. C. Size, Density and Hardshell in dry beans. Food Technology, v. 21, p. 335-338, 1967.
- BOURNE, M. C. Texture measurement of individual cooked dry beans by the puncture test. J. Food Sci., Chicago, v. 37, p. 751-753, 1972.
- BURR, H. K., KON, S., MORRIS, H. J. Cooking rates of dry beans influenced by moisture content and temperature and time of storage. Food Technology, v. 22, p. 336-338, 1968.
- CUNHA, M. F. Efeito de Tratamentos por radiação Gama ou Microondas em propriedades físicas, químicas e sensoriais do feijão (*Phaseolus vulgaris*) da variedade 80 S.H., antes e durante a estocagem. Campinas : UNICAMP, 1992. 129 p. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, 1992.
- DURIGAN, J. F. Influência do tempo e das condições de estocagem sobre as propriedades químicas, físico-mecânicas e nutricionais do feijão mulatinho (*Phaseolus vulgaris* L.). Campinas : UNICAMP, 1979. 81 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.
- EDMISTER, J. A., BREENE, W. M., SERUGENDO, A. Influence of temperature, water activity and time on cookability and color of a stored Rwandan dry bean (*Phaseolus vulgaris*) mixture. J. stored Prod. Res., v. 26, n. 3, p. 121- 126, 1990.
- GARCIA, A., BRESSANI, R. Efecto de la radiacion solar sobre algunas características fisico-químicas del grano de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Observaciones preliminares. Turrialba, v. 35, n. 2, p. 155-158, 1985.
- GARRUTI, R. S., BOURNE, M. C. Effect of storage conditions of dry bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.) on texture profile parameters after cooking. J. Food Sci., Chicago, v. 50, p. 1067-1071, 1985.

- GOMEZ BRENES, R., ELIAS, L. G., MOLINA, M. R. et al. Changes in chemical composition and nutritive value of common beans and other legumes during house cooking. In: MEETING OF NUTRITIONAL ASPECTS OF COMMON BEANS AND OTHER LEGUME SEEDS AS ANIMAL AND HUMAN FOODS, 973, Ribeirão Preto. Proceedings... Caracas : Archivos Latinoamericanos de Nutricion, 1973. p. 93-108.
- HINCKS, M. J., Mc CANNEL, A., STANLEY, D. W. Hard-to-cook defect on black beans. Soaking and cooking processes. Journal of Agricultural Food, v. 35, n. 4, p. 576-583, 1987.
- HINCKS, M. J., STANLEY, D. W. Multiple mechanisms of bean hardening. Journal of Food Technology, v. 21, p. 731-750, 1986.
- HOHLBERG, A. I., STANLEY, D. W. Hard-to-cook defect in black beans. Protein and starch considerations. J. Agric. Food Chem., Washington, v. 35, n. 4, p. 571-576, 1987.
- JACKIX, Marisa Hoelz. Influência do armazenamento e diferentes tratamentos de maceração e cocção na qualidade de feijões (*Phaseolus vulgaris* L.). enlatados. Campinas : UNICAMP, 1978. 148 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1978.
- JACKSON, G. M., VARRIANO-MARSTON, E. Hard-to-cook phenomenon in beans: effects of accelerated storage on water absorption and cooking time. J. Food Sci., Chicago, v. 46, p. 799-803, 1981.
- JONES, P. M. B., BOULTER, D. The cause of reduced cooking rate in *Phaseolus vulgaris* following adverse storage conditions. J. Food Sci., Chicago, v. 48, p. 623-649, 1983.
- JORGE, José Tadeu. Determinações de algumas propriedades físicas e mecânicas da soja, variedade Santa Rosa. Campinas : UNICAMP, 1977. 196 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos e Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1977.

- MAFULEKA, M. M., OTT, D. B., HOSFIELD, G. L. A. et al. Dry bean (*Phaseolus vulgaris*) hardening and the consequences of pectin methylesterase activity in storage. J. Food Process. Preserv., Westport, v. 15, p. 1-18, 1991.
- MEJIA, E. G. Efecto de diferentes condiciones de almacenamiento sobre el desarrollo de la dureza del frijol. Arch. Latinoamericanos de Nutricion, v. 2, p. 258-274, 1982.
- MINISTÉRIO DA AGRICULTURA DO BRASIL. Normas de identidade, qualidade, apresentação e embalagem do feijão. Brasília, 1987. 16 p.
- MOLINA, M. R., BALEN, M. A., GOMES, R. A. et al. Heat treatment: a process to control the development of the hard-to-cook phenomena in black beans (*Phaseolus vulgaris*). J. Food Sci., Chicago, v. 41, p. 661-666, 1976.
- MOLINA, M. R., DE LA FUENTE, G., BRESSANI, R. Interrelation ship between storage, soaking time, cooking time, nutritive value and other characteristics of the black bean (*Phaseolus vulgaris*). J. Food Sci., Chicago, v. 40, p. 587-591, 1975.
- MOLINA, M. R., RIZO, M. E., BATEN, M. A. et al. Prevention of the bean hardening and utilization of the hardened grain. Arch. Latinoamericanos de Nutricion, v. 32, p. 369-400, 1982.
- MORRIS, H. J. Changes in cooking qualities of raw beans as influenced by moisture content and storage time. in: Annual Dry Bean Conference, 7th, Albany - USA, 1964. 37 p.
- MORRIS, H. J., WOOD, E. R. Influence of moisture content on keeping quality of dry beans. Food Technology, v. 10, p. 225-229, 1956.
- MOSCOSO, W., BOURNE, M. C., HOOD, L. F. Relationship between the hard-to-cook phenomenon in red kidney beans and water absorption, puncture force, pectin, phytic acid, and minerals. J. Food Sci., Chicago, v. 49, p. 1577-1583, 1984.

- MUNETTA, P. The cooking time of dry beans after extended storage. Food Technology, v. 18, p. 1240-1241, 1964.
- NORDSTRON, C. L., SISTRUNK, W. A. Effect of type of bean, soak time, canning media and storage time on quality attributes and nutritional value of canned dry beans. J. Food Sci., Chicago, v. 42, n. 3, p. 795-798, 1977.
- PLHAK, L. C., STANLEY, D. W., HOHLBERG, A. I. Hard-to-cook defect in black beans - Effect of pretreatment and storage condition on extractable phenols and peroxidase activity. Can. Inst. Food Sci. Technol. J., Ottawa, v. 20, n. 5, p. 378-382, 1987.
- PUZZI, D. Manual de armazenamento de grãos: armazéns e silos. São Paulo : Ed. Agronômica Ceres, 1977. p. 67.
- RIVERA, J. A., HOHLBERG, A. I., AGUILERA, J. M. Hard-to-cook defect in black beans - Peroxidase characterization and effect of heat pretreatment and storage conditions on enzyme inactivation. Can. Inst. Food Sci. Technol. J., Ottawa, v. 22, n. 3, p. 170-175, 1989.
- SÃO JOSÉ, E. B., GOMES, J. C., MATSUOKA, K. et al. Características do endurecimento do tegumento do feijão (Phaseolus vulgaris L.). Arq. Biol. Tecnol., v. 29, n. 4, p. 633-650, 1986.
- SEFA-DEDEH, S., STANLEY, D. W., VOISEY, P. W. Effects of soaking time and cooking conditions on texture and microstructure of cowpeas (Vigna unguiculata). J. Food Sci., Chicago, v. 43, p. 1832-1838, 1978.
- SEFA-DEDEH, S., STANLEY, D. W., VOISEY, P. W. Effect of storage time and conditions on the hard-to-cook defect in cowpeas (Vigna unguiculata). J. Food Sci., Chicago, v. 44, p. 790-796, 1979.
- SGARBIERI, V. C., GARRUTI, R. S. A review of some factors affecting the availability, and the nutritional and the technological quality of common dry beans, a dietary staple in Brazil. Can. Inst. Food Sci. J., Ottawa, v. 19, n. 5, p. 202-209, 1986.

- SHAMA, F., SHERMAN, P. Evaluation of some textural properties of food with the Instron Universal testing Machine. J. Texture Studies, v. 4, n. 3, p. 344-353, 1973.
- SIEVWRIGHT, C. A., SHIPE, W. F. Effect of storage and chemical treatments on firmness, in vitro protein digestibility, condensed tannins, phytic acid and divalent cations of cooked black beans (*Phaseolus vulgaris*). J. Food Sci., Chicago, v. 51, n. 4, p. 982-987, 1986.
- SILVA, C. A. B., BATES, R. P., DENG, J. C. Influence of soaking and cooking upon the softening and eating quality of black beans (*Phaseolus vulgaris*). J. Food Sci., Chicago, v. 46, p. 1716-1720, 1981.
-
- STANLEY, D. W., AGUILERA, J. M. A review of textural defects in cooked reconstituted legumes - the influence of structure and composition. J. Food Biochemistry, Westport, v. 9, p. 277-323, 1985.
- STANLEY, D. W., MICHAELS, T. E., PLHAK, L. C. et al. Storage-induced hardening in 20 common bean cultivars. Journal of Food Quality, v. 13, p. 233-247, 1990.

8. ABSTRACT

The purpose of this work was to verify the influence of heat treatments, moisture content and ambient air on the hardening phenomenon of stored dry beans (*Phaseolus vulgaris L.*) in order to identify the storage conditions that minimizes the textural quality loss of the product. Two heat treatments were applied: 2 minutes in an autoclave at 121°C and 10 minutes under steam at 98°C followed by eight months period storage in hermetic glass jars. The beans moisture contents were 7, 10 and 13%, during storage at ambient temperature (15 to 27°C) at two conditions: fortnightly aeration and no aeration at all. Every two months the beans textural quality were evaluated by determining the cookability through the "Mattson Penetrometer" device and by testing the resistance against compression force of the raw beans. Cooked beans textural quality were better maintained when stored at moisture contents of 7% or 10%, without pre-storage heat treatments and independent of the ambient air presence. Both heat

treatments autoclave and steam were proven to be detrimental to the beans cookability. The storage time was directly proportional to the beans hardening process, with respect to all analysed factors. It was verified that, for the investigated moisture content range, raw beans texture was influenced by its moisture content, so that higher moisture levels meant grains of lower hardness. It was also observed that beans cookability cannot be predicted by its raw characteristic of hardness.