

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**INFLUÊNCIA DO VAPOR SOB PRESSÃO E RADIAÇÃO  
INFRAVERMELHA NO DESEMPENHO DA DECORTICAÇÃO,  
QUALIDADE DO ÓLEO E RESISTÊNCIA MECÂNICA DA AMÊNDOA  
DE CASTANHA DO BRASIL**

**GLENDIA ANTONIA DA ROCHA NEVES**

CAMPINAS  
MAIO DE 2012

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

**INFLUÊNCIA DO VAPOR SOB PRESSÃO E RADIAÇÃO INFRAVERMELHA NO  
DESEMPENHO DA DECORTICAÇÃO, QUALIDADE DO ÓLEO E RESISTÊNCIA  
MECÂNICA DA AMÊNDOA DE CASTANHA DO BRASIL**

Dissertação submetida à banca  
examinadora para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Agrícola na  
área de concentração em Tecnologia  
Pós-colheita.

**GLENDIA ANTONIA DA ROCHA NEVES**

**Orientador: Prof. Dr. ANTONIO CARLOS DE OLIVEIRA FERRAZ**

CAMPINAS  
MAIO DE 2012

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA E ARQUITETURA - BAE - UNICAMP

N414i

Neves, Glenda Antonia da Rocha

Influência do vapor sob pressão e radiação infravermelha no desempenho da decorticação, qualidade do óleo e resistência mecânica da amêndoa de castanha do Brasil / Glenda Antonia da Rocha Neves. -- Campinas, SP: [s.n.], 2012.

Orientador: Antonio Carlos de Oliveira Ferraz.  
Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Castanha-do-Pará. 2. Castanha-do-Pará - Secagen. 3. Descascamento. 4. Tratamento térmico. 5. Propriedades Mecânicas. I. Ferraz, Antonio Carlos de Oliveira, 1953-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

Título em Inglês: Influence of overheated steam with pressure and infrared drying the decortication, oil quality and mechanical resistance Brazil nuts kernel

Palavras-chave em Inglês: Brazil nut, Drying - Brazil nut, Peeling, Heat treatment, Mechanical properties

Área de concentração: Tecnologia Pós-Colheita

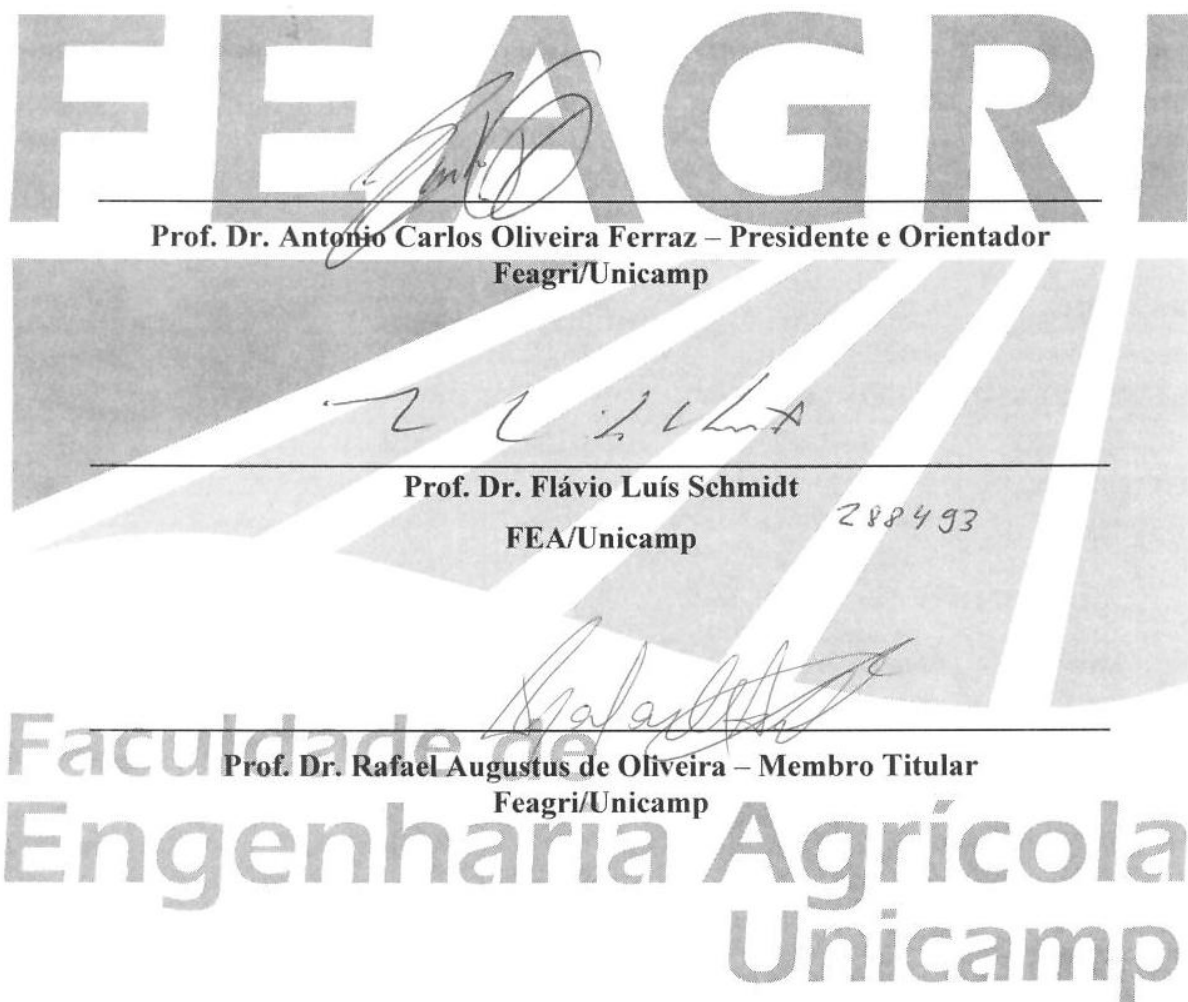
Titulação: Mestra em Engenharia Agrícola

Banca examinadora: Flávio Luís Schmidt, Rafael Augustus de Oliveira

Data da defesa: 14-07-2012

Programa de Pós Graduação: Engenharia Agrícola

Este exemplar corresponde à redação final da **Dissertação de Mestrado** defendida por **Glenda Antonia da Rocha Neves**, aprovada pela Comissão Julgadora em 14 de junho de 2012, na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas.





## AGRADECIMENTOS

*À Deus por me permitir;*

*Aos órgãos de fomento: CAPES, pela bolsa de mestrado necessária para minha permanência em Campinas e ao CNPq pela bolsa de iniciação científica.*

*À FEA-UNICAMP e aos professores e funcionários que me permitiram e ajudaram a realizar parte dos experimentos no local e pelos ensinamentos (Profa Maria Izabel, Prof Flávio Schimitd, Ana Maria, Leonel e Adalto);*

*À FEAGRI em nome de Rosa Helena, Leandro Moraes, Francisco de Oliveira, Rosália, Franciane Souza, Edson Caires, José Maria, Davis Mendes, Cláudio Umezu que sempre foram solícitos ajudando na confecção dos materiais utilizados nos experimentos e análises.*

*Aos professores da FEAGRI: Paulo Leal, Silvio Honório, Rafael Augustos e Benedito Benedetti por seus ensinamentos;*

*Ao Professor Antonio Carlos de Oliveira Ferraz, pela orientação profissional e pessoal;*

*Aos órgãos da FEAGRI: CPG em nome de Marta Vechi, Sidnei Trombeta e Célia de Carvalho; SAM em nome de Reinaldo Benedito e Suzely Francisco;*

*Aos amigos que me ajudaram: Audirene Amorim, Vânia Nascimento, Rívia Amaral e Adriano Chaves;*

*Aos alunos de graduação: Gabriel Meireles, Vinícius Lopes e Ana Silveira;*

*Aos amigos que estiveram presentes nestes anos: Denize Oliveira, Eveline Soares, Carlos Costa, Allan Charles e Luíz Julião e aos que não estiveram presentes, mas apoiaram mesmo na distância de minha amizade;*

*Ao Leonardo Nazário por todas as ajudas e incentivos;*

*Aos meus familiares pelo apoio e incentivo;*

*À família Neves: Clever, Eliana, Klayton e Fernanda, pelo amor e carinho, mas principalmente pela paciência na minha distância.*

“Árdua é a missão de  
desenvolver e defender a  
Amazônia.”

Gen. Ex. Rodrigo Octávio (1910-1980).

## SUMÁRIO

RESUMO .....	viii
ABSTRACT .....	x
LISTA DE FIGURAS .....	xii
LISTA DE TABELAS .....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1 CASTANHA DO BRASIL.....	3
2.1.1 Generalidades .....	3
2.1.2 Características Botânicas .....	4
2.1.3 Composição Nutricional .....	7
2.2 CADEIA PRODUTIVA DA CASTANHA DO BRASIL.....	8
2.2.1 Coleta.....	9
2.2.2 Processamento da Castanha do Brasil na Unidade de Beneficiamento .....	10
2.2.3 Classificação .....	11
2.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS .....	12
2.4 CONDICIONAMENTO .....	14
2.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL .....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA CASTANHA .....	19
3.2. CONDICIONAMENTO COM VAPOR SOB PRESSÃO.....	21
3.2.1 Avaliações para condicionamento com vapor .....	24
3.3 CONDICIONAMENTO COM RADIAÇÃO INFRAVERMELHA .....	26
3.3.1 Avaliação para condicionamento com radiação infravermelha .....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	31
4.1 CONDICIONAMENTO COM VAPOR.....	31
4.1.1 Variação de temperatura durante aquecimento com vapor.....	31
4.1.2 Avaliação do desempenho da decorticação .....	33

4.2.2	Efeito do condicionamento com vapor sob pressão na qualidade da amêndoa.....	37
4.2	CONDICIONAMENTO COM RADIAÇÃO INFRAVERMELHA.....	46
4.2.1	Variação de temperatura durante aquecimento radiação infravermelha.....	46
4.2.2	Avaliação do desempenho da decorticação .....	47
4.2.3	Efeito do condicionamento com radiação infravermelha na qualidade da amêndoa.....	51
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	55
6.	CONCLUSÕES .....	56
7.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	57
8.	REFERÊNCIAS .....	58
9.	APÊNDICES .....	65

## RESUMO

A amêndoa de castanha do Brasil é apreciada internacionalmente por seu valor nutricional, no entanto, a desorganização do comércio, a falta de conhecimento adequado para manuseio do produto, investimentos e visão para perpetuação do negócio, durante décadas acarretaram a perda de mercado com conseqüente queda nas exportações. Desde os primeiros relatos encontrados sobre seu processamento, a castanha do Brasil é, de forma empírica, submetida a condicionamentos que visam o amolecimento da casca para facilitar sua quebra e obter amêndoas sem danos. O condicionamento mais aplicado atualmente no Brasil é o vapor sob pressão, no entanto a qualidade do produto final pode ser alterada, obtendo-se amêndoas com alto índice de acidez. A ausência de relatos técnicos científicos sobre o seu processamento nos motivou, neste trabalho, a investigar o efeito do condicionamento aplicado industrialmente na castanha do Brasil, e ainda investigar uma abordagem inovadora utilizando a radiação infravermelha como condicionamento para desidratação da casca. Para isto, foram realizadas avaliações com base no desempenho da decorticação, índice de acidez e resistência mecânica da amêndoa. Utilizou-se o delineamento composto central rotacional (DCCR) que permite visualizar a interação das variáveis associadas, que foram: vapor sob pressão combinado com tempo e aplicação de radiação infravermelha combinada com deformação específica; para este último condicionamento um secador de radiação infravermelha foi construído. Observou-se que os dois condicionamentos abordados afetaram na obtenção de amêndoas. No condicionamento com a maior pressão de 304 kPa durante 120 segundos obteve-se 17% de amêndoas liberadas e íntegras (IL), para esta mesma classe (IL) o condicionamento com aplicação do tempo médio de radiação infravermelha, durante 135s, e a menor deformação específica (4%), também foi de 17%. Nos ensaios com castanhas in natura não se obteve amêndoas sem danos mecânicos. O índice de acidez dos condicionamentos com vapor T2 (253 kPa e 100s); T6 (304 kPa e 120s); e T9 (203 kPa e 120s), já no início do período de armazenamento não estavam em conformidade com a legislação brasileira para óleos brutos, e após 45 dias todos as amostras estavam em desacordo com a legislação, exceto T7 (203 kPa e 90s) que teve o menor tempo de exposição ao vapor. Para o condicionamento com radiação

infravermelha, apesar do lote utilizado não estar em conformidade com a legislação, após 45 dias de armazenamento houve pouca variação nos valores de acidez. Quanto à resistência mecânica da amêndoa, os tratamentos com vapor modificaram igualmente, já para o condicionamento com IV, apenas o maior tempo de exposição foi capaz de alterá-la. Os condicionamentos com vapor afetaram a qualidade da amêndoa, o contrário dos condicionamentos com radiação IV, e por isso, estes últimos merecem estudos futuros.

**Palavras-Chaves:** Castanha-do-Pará, Umidificação, Secagem, Tratamento térmico, Descascamento, Propriedades mecânicas.

## ABSTRACT

### **INFLUENCE OVERHEATED STEAM WITH PRESSURE AND INFRARED DRYING THE DECORTICATION, OIL QUALITY AND MECHANICAL RESISTANCE BRAZIL NUTS KERNEL**

Brazil nut is appreciated internationally for its nutritional value, however the lack of organization of the productive chain, adequate knowledge about product handling, investments, and vision for the perpetuation of the business, resulted for decades in market loss with consequent decrease in exports. Since the first reports found about its processing, the Brazil nut is, empirically, subjected to heat conditioning that aims in softening the shell to facilitate its breaking and to obtain unruptured nuts. The most used conditioning in Brazil is the pressure associated with the superheated vapor, however the quality of the final product can be altered, obtaining nuts with a high degree of acidity. The lack of scientific reports about its processing motivated us, in this work, to investigate the effects of the conditioning applied industrially to the Brazil nut and investigate an innovative approach making use of infrared radiation as conditioning to dehydrate the shell. For this, assessments were made based on the performance of decortication, acidity index and mechanical resistance of the nut. The central composite designs (CCD) was used as it allows for the visualization of the interactions between the associated variable: superheated vapor, pressure combined with time and the use of infrared radiation combined with the specific deformation; for this last conditioning, an infrared radiation drier was designed and built. It was verified that both conditionings affected the obtainment of the nuts. In the conditioning with the highest pressure of 304 kPa during 120 seconds, it was observed that 17% of the nuts were liberated and intact (LI), for the same class (LI) the conditioning with application of the average time of infrared radiation, during 135s, and the smaller specific deformation, of 4%, was also 17%. The experiments with nuts *in natura* performed for each design did not obtain nuts without mechanical damages. The acidity index of the conditioning with vapor: T2 (253 kPa and 100s); T6 (304 kPa and 120s); and T9 (203 kPa and 120s), already in the beginning of the storage period were not in the range established by the Brazilian legislation for crude oils, and after 45 day all the samples

were in violation of the legislation, except T7 (203 kPa and 90s) which had the least exposure to vapor. For the conditioning with infrared radiation, all the samples were in violation of the legislation with indexes above 4 mg KOH/g. The energy of deformation was used to assess the mechanical resistance of the nuts and, as expected, the energy was less in the vapor treatments, when compared to the nuts *in natura* and the inverse occurred for nuts subjected to infrared radiation.

**Keywords:** Brazil nut, Humidification, Drying, Heat treatment, Dehulling, Mechanical properties.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Castanheira do Brasil (MACHINER ; MACHINER, 2008).....	3
Figura 2. Ouriço, sementes e amêndoas de castanha do Brasil. ....	5
Figura 3. Ilustração da semente de <i>Bertholletia excelsa</i> H.B. ....	6
Figura 4. Seção transversal de amêndoa de <i>Bertholletia excelsa</i> .....	6
Figura 5. Eixo transversal amêndoa de castanha do Brasil em Microscopia eletrônica de varredura [205 x 5.000 kv]. ....	7
Figura 6. Fluxograma ilustrativo das etapas primarias de coleta e transporte da castanha do Brasil.....	9
Figura 7. Diagrama ilustrando as etapas executadas na unidade de beneficiamento para castanha do Brasil.....	11
Figura 8. Quadro sinóptico para classificação das castanhas, adaptado de BRASIL, 1976.....	12
Figura 9. Ensaio de penetração com ponteira cilíndrica de uma amêndoa.....	20
Figura 10. Ilustração do aparato experimental, utilizado nos ensaios com vapor sob pressão..	21
Figura 11. Aparato experimental utilizado nos ensaios com vapor e sua instrumentação. ....	22
Figura 12. Ilustração da forma de aplicação dos condicionamentos com vapor e pressão combinada com tempo.....	22
Figura 13. Posição do termopar na castanha .....	24
Figura 14. Adaptação da furadeira de bancada utilizada para decorticação à baixa taxa de deformação. ....	25
Figura 15. Aspectos dimensionais e construtivos do secador infravermelho utilizado para secagem da castanha. ....	27
Figura 16. Ilustração da forma de aplicação do tratamento 1.....	27
Figura 17. Representação esquemática do dispositivo de impacto mostrando a aplicação direcionada da força e deformação.....	29
Figura 18. Ilustração do comportamento da variação de temperatura na amêndoa e no vapor à 101 kPa durante 150s.....	31
Figura 19. Temperaturas médias medidas dentro das castanhas e no vapor durante 150s contínuos para 101 kPa, 203 kPa e 304 kPa. ....	32

Figura 20. Amêndoas provenientes dos tratamento T2 (A) e T8 (B).....	33
Figura 21. Desempenho na decorticação à baixa taxa de deformação limitada para castanha do Brasil.....	35
Figura 22. Efeito da temperatura na acidez do óleo de castanha do Brasil expressa em acidez em ácido oléico (%) no dia 0 e aos 45 dias .....	39
Figura 23. Superfície de resposta (a), curva de contorno (b) e valores previstos pelo modelo e observados experimentalmente (c) para o parâmetro tempo (s) de exposição ao vapor em função da pressão (kPa), referente a resposta acidez em ácido oléico (%) no dia 0. ....	42
Figura 24. Curvas de Força (N) X Deformação (mm), características dos ensaios de penetração para o tratamento T6 e castanhas <i>in natura</i> .....	43
Figura 25. Valores da Energia de deformação ( $\mu$ J) para amêndoas de castanha do Brasil, submetidas as combinações de vapor aquecido e pressão.....	44
Figura 26. Variação da temperatura medida no interior da amêndoa durante condicionamento utilizando radiação infravermelha. ....	46
Figura 27. Desempenho na decorticação através de impacto único direcionado de castanha do Brasil.....	48
Figura 28. Valores médios de acidez em ácido oléico (%) no dia 0 e aos 45 dias de armazenamento.....	52
Figura 29. Relação força x deformação obtida para amêndoas expostas à radiação IV em diferentes intervalos de tempo.....	53
Figura 30. Distribuição da energia de deformação, média e linearização dos dados obtidos para amêndoas submetidas à exposição de radiação IV.....	54
Figura 30. Representação esquemática do aparato experimental utilizado nos ensaios preliminares com vapor .....	66
Figura 32. Curvas Força (N) x Deslocamento (mm) correspondentes ao tratamento 9. ....	69
Figura 33. Curvas Força (N) x Deformação específica (%). ....	70

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Equipamentos e reagentes.....	19
Tabela 2. Variáveis do DCCR para o estudo do condicionamento com vapor e pressão. ....	23
Tabela 3. Matriz real e codificada para os condicionamentos com vapor.....	23
Tabela 4. Variáveis do DCCR para o estudo do tratamento com aplicação de radiação infravermelha.....	28
Tabela 5. Matriz real e codificada para os condicionamentos com radiação infravermelha.....	28
Tabela 6. Diferenças das temperaturas (°C) entre o vapor e castanha aos 20s de aplicação de vapor, com suas respectivas médias e coeficientes de variação. ....	32
Tabela 7. A composição dos tratamentos com vapor e a deformação específica aplicada com seu respectivo coeficiente de variação.....	34
Tabela 8. Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística à $p \leq 0,1$ , para amêndoas liberadas (%)......	36
Tabela 9. Análise de variância do modelo ajustado para amêndoas liberadas. ....	37
Tabela 10. Umidade relativa em b.u. (%) e os respectivos coeficientes de variação (CV), para casca e amêndoa dos tratamentos com vapor. ....	38
Tabela 11. Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística à $p \leq 0,1$ , para a umidade da casca e amêndoa, nos tratamentos com vapor.....	39
Tabela 12. Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística à $p \leq 0,05$ , para a Acidez em ácido oléico (%) no dia zero.....	40
Tabela 13. Análise de variância para a resposta acidez em ácido oléico (%) para o dia zero...41	
Tabela 14. Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística à $p \leq 0,05$ , para a Acidez em ácido oléico (%) após 45 dias.....	42
Tabela 15. Médias da energia de deformação ( $\mu\text{J}$ ) e CV (%) para tratamentos com vapor e amêndoas <i>in natura</i> .....	44
Tabela 16. Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística à $p \leq 0,1$ , para energia de deformação das amêndoas. ....	45

Tabela 17. Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística à $p \leq 0,05$ , para amêndoas liberadas (%).	50
Tabela 18. Análise de variância do modelo ajustado para amêndoas liberadas.	50
Tabela 19. Umidade b.u (%) em castanha do Brasil para os tratamentos de exposição à radiação IV.	51
Tabela 20. Valores médios da energia de deformação até 7%, coeficiente de variação e comparação de médias (Tukey, $p \leq 0,05$ ).	54
Tabela 21. Combinações dos condicionamentos aplicados com vapor e pressão.	67
Tabela 22. Valores médios de energia de deformação.	69
Tabela 23. Valores médios de energia obtidos a partir da integração até 15% de deformação específica.	70
Tabela 24. Porcentagens de ácido oléico encontradas para as amostras de óleo analisadas e respectivos coeficiente de variação.	71
Tabela 25. Valores obtidos para Energia de deformação (mJ); Módulo de Elasticidade (kPa) e Força Máxima (N/m) com seus respectivos coeficientes de variação.	73



## 1. INTRODUÇÃO

---

A castanheira do Brasil, castanheira do Pará ou simplesmente castanheira (*Bertholletia excelsa* H. & B. – Lecythidaceae) é uma das espécies com maior diâmetro da floresta amazônica (SALOMÃO et al., 2006), sendo uma árvore de grande porte que pode atingir 50 metros de altura. Ocorre em agrupamentos mais ou menos extensos, denominados castanhais e conhecidos pelos caboclos como “bolas” (MÜLLER et al., 1980), onde pode-se encontrar até 15 castanheiras por hectare (SALOMÃO, 1991; SALOMÃO et al., 2002).

Seu fruto, a castanha do Brasil, tem grande importância econômica regional no agronegócio extrativista, devido sua amêndoa ser um produto em pauta na exportação brasileira. Até 1984 a castanha do Brasil chegou a representar de 25 a 30 milhões de dólares anuais na exportação principalmente para Estados Unidos e para o Reino Unido (AIRES et al., 1986; citado por CARDARELLI e OLIVEIRA, 2000).

Em 2003 e 2006 a União Européia (U.E.) publicou nas decisões 493/2003 e 401/2006, especificações com barreiras fitossanitárias para aflatoxinas, o que limitou o volume exportado para esses países devido a contaminação ocorrida a partir do fungo *Aspergillus flavus* (EMBRAPA, 2009). Desde então muitas pesquisas vem sendo realizadas com foco na toxina do fungo *Aspergillus flavus* (PINHEIRO, 2004; DE MELLO, 2009; COSTA et al., 2009; EMBRAPA, 2009; MIDORIKAWA, 2009).

A amêndoa da castanha do Brasil é apreciada internacionalmente pelo seu valor nutricional, e sua exportação vem decrescendo por diversos fatores que afetam o desenvolvimento do seu mercado, tais como geografia típica regional, questões tecnológicas, políticas, econômicas, sociais e culturais. No período de 2008 e 2009 a exportação de castanha com casca chegou a 21.783.272 kg e sem casca 1.850.254 Kg, já em 2010 e 2011 esses valores caíram para 941.746 kg e 18.406.686 kg, respectivamente (SECEX, 2012).

A desorganização do comércio, a falta de conhecimento adequado para manuseio do produto, investimentos e visão para perpetuação do negócio, faz com que a castanha seja exposta a condições impróprias que se iniciam na permanência demasiada do ouriço sobre o

solo, após sua queda da castanheira, e se propagam durante a retirada da castanha da floresta, nos múltiplos períodos de armazenamento e, na unidade de beneficiamento, até a preparação final da amêndoa (HOMMA e MENEZES, 2008). Dentre as etapas citadas identificam-se questões muito básicas exemplificadas por procedimentos que ainda seguem o empirismo e cercados de ‘segredos’, segundo expressão regional. Compõe-se, assim, um quadro de muitos desafios para oferecer produtos com qualidade, evidenciado pela perda de valores nutricionais, contaminação por substâncias carcinogênicas, perda de valor e de oportunidades de negócio. Parece que somente uma ação integrada resolveria o problema, no entanto ela não é simples e nem mesmo imediata.

Evidencia-se, também, uma insuficiência de investigação científica, nos múltiplos aspectos de interesse, confirmada pelo número reduzido de publicações associadas, principalmente, ao beneficiamento da castanha do Brasil.

O trabalho tem foco na etapa do beneficiamento onde a castanha é seca, condicionada e decorticada e sua hipótese norteadora é que a utilização de tratamento térmico adequado proporciona maior desempenho na decorticação e mantém a qualidade da amêndoa. Para identificar possíveis parâmetros tecnológicos associados ao condicionamento e a decorticação, o condicionamento utilizado comercialmente foi reproduzido em laboratório e uma abordagem inovadora, isto é, o condicionamento utilizando radiação infravermelha para desidratação superficial da castanha, foi investigada. Para ambas abordagens considerou-se os efeitos na decorticação, na qualidade do óleo e nas propriedades mecânicas da amêndoa.

Desta forma o objetivo geral deste trabalho foi avaliar os efeitos dos condicionamentos na castanha do Brasil visando desempenho na decorticação e qualidade da amêndoa e para isso, os objetivos específicos foram definidos como:

Investigar os efeitos do condicionamento com vapor e pressão associado ao desempenho da decorticação, realizada com baixa taxa de deformação e deformação limitada, resistência mecânica da amêndoa e acidez do óleo; e

Investigar os efeitos do condicionamento com radiação infravermelha e ar forçado associado ao desempenho da decorticação empregando alta taxa de deformação e deformação limitada, resistência mecânica da amêndoa e acidez do óleo.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 2.1 CASTANHA DO BRASIL

#### 2.1.1 Generalidades

A castanheira do Brasil (*Bertholletia excelsa* sp. Lecythidaceae) faz parte das riquezas da floresta Amazônica, sendo uma das espécies vegetais mais nobres com a exploração tendo papel fundamental na organização sócio-econômica de grandes áreas extrativistas (MÜLLER et al., 1995). Árvore de grande porte que pode atingir 50 metros de altura, na floresta amazônica é certamente uma das espécies que possuem os maiores diâmetros, na literatura relatam-se de 3 a 5 metros de circunferência (SALOMÃO et al., 2006). Ocorre em agrupamentos mais ou menos extensos, denominados castanhais e conhecidos pelos caboclos como “bolas” (MÜLLER et al., 1980), onde pode-se encontrar até 15 castanheiras por hectare (SALOMÃO, 1991; SALOMÃO et al., 2002).

A castanha do Brasil é conhecida por diversas denominações, entre elas castanha do Pará nacionalmente e “Brazil nut” no exterior, sua denominação atual foi publicada no decreto lei 51.209 de 18 de agosto de 1961, no Diário Oficial da União (BRASIL, 1961).

Abaixo a Figura 1 ilustra a árvore de castanheira do Brasil.



**Figura 1.** Castanheira do Brasil (MACHINER e MACHINER, 2008).



A distribuição geográfica desta castanha no Brasil abrange os estados do Acre, Amazonas, Pará, Roraima, e Rondônia, bem como em boa parte do Maranhão, Tocantins e do Mato Grosso (LOUREIRO et al., 1968), sendo encontrada também nas Guianas, Bolívia e Peru. O início da sua exploração é reportado em 1800, e antes disto haviam sido utilizadas pelos holandeses no século XVI e pelos portugueses no começo do século XVII quando houve a conquista do Grão-Pará (SOUZA, 1947 citado por SOUZA, 1999).

O Decreto 1282 de 19 de outubro de 1994 protege o extrativismo da castanheira do Brasil e o do seu fruto, a castanha do Brasil, que tem elevado valor econômico como produto extrativo florestal, desde a decadência da borracha (LOCATELLI, 2005). Segundo MÜLLER, et al. (1995) e SOUZA et al. (2004) a exploração extrativista contribui para a economia dos estados produtores por ser um produto que tem participação expressiva na geração de divisas para a região, com exportações para os mercados interno e externo.

### **2.1.2 Características Botânicas**

Humboldt e Bonpland em 1807 descreveram primeiramente a espécie *Bertholletia excelsa*, porém Poiteau, em 1825 foi quem deu status de família à Lecythidaceae (MORI e PRANCE, 1990 apud TONINI et al., 2008).

Segundo PENNACCHIO (2008), a espécie reportada é encontrada em solos argilosos, argilo-arenosos, desestruturados, drenados, e até mesmo em solos pobres. Não se adaptando a áreas com drenagem deficiente e solos excessivamente compactados preferindo terras altas e firmes. Prefere áreas com precipitação média entre 1500 a 2800 mm/ano. Por este motivo LOUREIRO et al., (1979) destacam que a espécie desenvolve-se naturalmente em regiões de clima quente e úmido, ocorrendo no Acre, Amazonas, Pará, Roraima, e Rondônia, bem como em boa parte do Maranhão, Tocantins e do Mato Grosso. PACHECO E SCUSSEL (2006) citam que o desenvolvimento de castanhais em terra firme, bem como o consórcio com outros sistemas de cultivos é possível sem comprometimento no desenvolvimento da árvore, no entanto ainda não existem relatos em literatura sobre o cultivo desta espécie de modo não extrativista.

Na Amazônia sua floração ocorre no período de outubro a dezembro, o ciclo dos frutos são de 15 meses e sua safra se estende de janeiro a março. A exploração é extrativista e especificamente amazônica, é encontrada em agrupamentos que quando significativos denominam-se castanhais, estes podem chegar a 3.000ha (ALMEIDA, 1963; CASTANHA, 1976; PESCE, 2009).

Ainda segundo ALMEIDA, (1963); CASTANHA, (1976) e PESCE, (2009), seus frutos tem forma de cápsula globosa-deprimida podendo chegar a 15cm de diâmetro. Com casca espessa e lenhosa é bastante resistente de cor castanha, não libera sementes espontaneamente; contém de 12 a 25 sementes rugosas, angulosas e agudas triangulares, conforme ilustrado na Figura 2.



**Figura 2.** Ouriço, sementes e amêndoas de castanha do Brasil.

Segundo SANTOS et al., (2006), externamente as sementes são estenospérmica; triangular angulosa; trisseriada; base, margem e ápice angulosos, o seu tegumento possui diferenciações em duas camadas denominadas testa e tégmen, sendo a testa mais externa rugosa com linhas de fratura por toda a sua extensão e o tégmen é um tecido membranoso de cor castanho, o mais escuro dos tecidos constituintes da semente. A posição das sementes nos frutos é relatada na posição axial com o hilo para baixo ligado ao funículo, este por sua vez uni-se a coluna central do ovário.

Os tecidos da testa e do tégmen são compostos quimicamente por ferro, magnésio, fósforo e cálcio (MENDES et al. 2007). No hilo é relatada a primeira protrusão da semente, onde nasce a raiz primaria, ele fica situado na base, que é mais larga do que a parte calicular, onde origina-se a parte aérea da planta (MÜLLER, 1995; SANTOS et al., 2006).

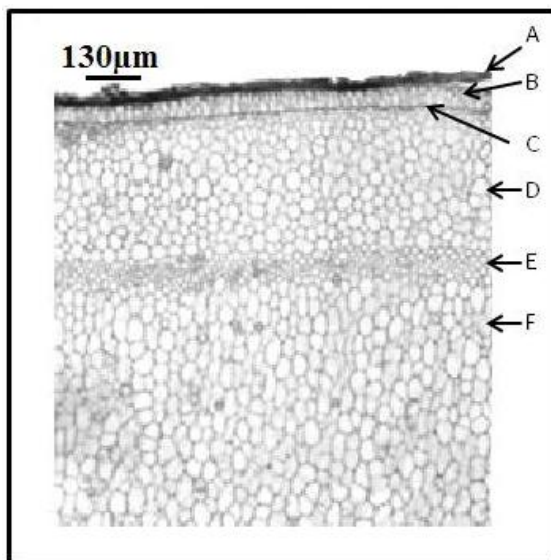
Sua divisão é *Angiospermae* e a classe é dicotiledônea (PACHECO e SCUSSEL, 2006), no entanto não se observa cotilédones no embrião, sendo a germinação criptocotiledonar, ou seja, os cotilédones permanecem dentro da testa após o desenvolvimento da plântula (BARROSO et al., 1999; SANTOS et al., 2006).

O embrião ou amêndoa, ilustrado na Figura 3, é composto principalmente de tecido parenquimático, que nesta espécie tem função de proliferação, este tecido é envolto por uma camada epidérmica e uma película lignificada (CAMARGO, et al., 2000).



**Figura 3.** Ilustração da semente de *Bertholletia excelsa* H.B.

Detalhando um pouco mais a estrutura embrionária CAMARGO et al. (2000), demonstram, na Figura 4, que há 6 camadas que compõe a amêndoa de castanha do Brasil, além disso, corpos de óleo são observados nos tecidos parenquimáticos.

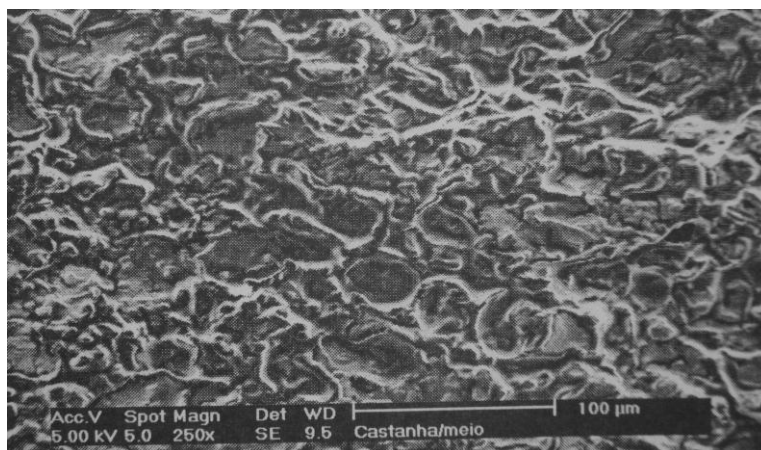


**Figura 4.** Seção transversal de amêndoa de *Bertholletia excelsa*, adaptado de CAMARGO et al., (2000) evidenciando seis tecidos A. película lignificada; B. perisperma; C. camada epidérmica; D. tecido parenquimático; E. anel de tecido procâmbial; e F. tecido meristemático que preenche a amêndoa.

### 2.1.3 Composição Nutricional

A amêndoa é considerada um alimento grandemente apreciado não só pelo seu sabor, como também por sua qualidade nutritiva, devido, dentre outros, aos tipos e quantidade de aminoácidos que apresenta (MENEZES, 1968). Na composição nutricional da castanha do Brasil, diversos autores encontraram como componentes mais abundantes os lipídios (67,3%), proteínas de alto valor biológico (14,3%) e fibras totais (8%), além do selênio de ação antioxidante na prevenção de câncer (SOUZA, 2003; SOUZA e MENEZES, 2004; e MOODLEY et al., 2007). Possui os minerais Ba, Br, Ca, Co, Cs, Mg, Ni, Rb, Sr e Se (ROGEZ, 1995) e as as vitaminas do grupo B, principalmente B1 e B3, pró-vitamina A e vitamina E (CHUNHIENG et al., 2004).

PACHECO e SCUSSEL (2006), destacam em análise de microscopia da amêndoa de castanha do Brasil a estrutura estável com aspecto rugoso devido ao agrupamento das proteínas, fibras e minerais.



**Figura 5.** Eixo transversal amêndoa de castanha do Brasil em Microscopia eletrônica de varredura [205 x 5.000 kv] (PACHECO, 2006 citado por PACHECO e SCUSSEL, 2006).

#### *Ácidos graxos*

O óleo da castanha do Brasil tem predominância dos ácidos oléico e linoléico, que são ácidos graxos essenciais e poliinsaturados (SOUZA e MENEZES, 2004). Sendo seus pontos de fusão a 13,4°C e -5°C, respectivamente, caracterizando-os como compostos instáveis. A instabilidade dos óleos, em geral, também é dada pela presença de ácidos graxos livres (AGL), que são componentes naturais da grande maioria dos lipídios, porém em baixa quantidade, e quando superaquecidos por um tempo relativamente longo ou temperaturas

elevadas a sua configuração espacial se modifica de *cis* para *trans*. Essa conversão caracteriza a rancidez autoxidativa ou autoxidação que por sua vez é caracterizada pela reação do oxigênio com as duplas ligações dos ácidos graxos e tem como principal produto os peróxidos e hidroperóxidos (MORETTO e FETT, 1998).

Assim, a peroxidação é encontrada no início da degradação e pode acarretar na diminuição da qualidade nutricional (EITENMILLER e LEE, 2004). MORETTO e FETT (1998) destacam ainda que o peróxido é um produto primário que sofre diversas reações paralelas que dão origem as cetonas e aldeídos, compostos voláteis que são responsáveis por odor e ranço.

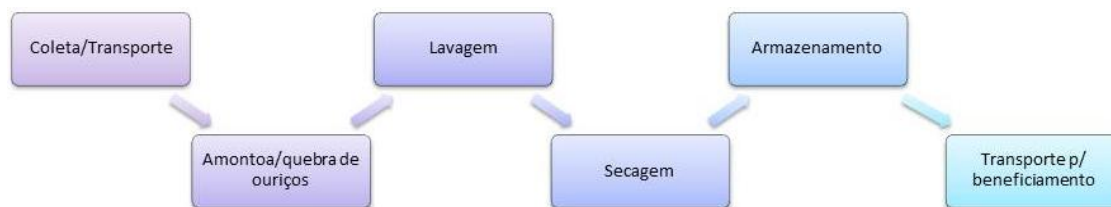
Para avaliar a qualidade dos óleos quantifica-se os ácidos graxos livres determinados pela acidez livre da gordura. Logo a acidez é uma variável relacionada a natureza, processamento, conservação, qualidade e grau de pureza da matéria-prima, e é determinada pela quantidade de hidróxido de sódio ou potássio necessários para neutralizar os ácidos graxos livres.

## **2.2 CADEIA PRODUTIVA DA CASTANHA DO BRASIL**

As principais etapas a que o fruto da castanheira é submetido está representado pelo fluxograma das Figuras 6 e 7 que constituem uma expressão das informações dispersas encontrados. Nele são enfatizadas a sequências e características das operações utilizadas na prática. Comentários são apresentados ao final de cada bloco analisado, evidenciando os pontos críticos.

### 2.2.1 Coleta

A Figura 6 ilustra as etapas primárias associadas à coleta da castanha do Brasil.



**Figura 6.** Fluxograma ilustrativo das etapas primárias de coleta e transporte da castanha do Brasil.

Os cuidados tomados logo após a coleta da castanha e foram relatados nas décadas de 60 e 70 por ALMEIDA (1963) e CASTANHA (1976). Sabe-se que até hoje esta prática pouco mudou. Assim, nos castanhais a coleta dos ouriços é realizada com auxílio de cestos de palha. Após recolhimento, estes são amontoados no castanhais para posterior abertura com facão e liberação das castanhas. As castanhas são transportadas para um rio onde é realizada lavagem para retirada da lama e, nesse processo, as castanhas ôcas, atrofiadas ou deterioradas, submergem e são descartadas. Geralmente logo após a lavagem as castanhas são transportadas para fora da floresta. Já nas comunidades extrativistas as castanhas não são lavadas, mas são secas em temperatura ambiente ao ar livre e armazenadas, permanecendo até o momento da comercialização ou envio para unidades de beneficiamento (HOMMA e MENEZES, 2008; ALMEIDA, 1963; CASTANHA, 1976).

O transporte é realizado em sacos de polietileno trançado com capacidade de 1 hectolitro. As castanhas seguem geralmente em embarcações até as feiras livres ou para unidades de beneficiamento. Como não são protegidas durante o trajeto estão sujeitas a contaminações químicas e biológicas. Por isso, o transporte nessa etapa é crítico à preservação da qualidade (HOMMA e MENEZES, 2008).

CASTANHA (1976) afirmava que a coleta e armazenagem deixavam muito a desejar, pois a lavagem realizada para retirada da lama e para seleção das castanhas “cochas” pela flutuação, não retirava as castanhas cortadas na quebra do ouriço e estas contaminavam castanhas íntegras.

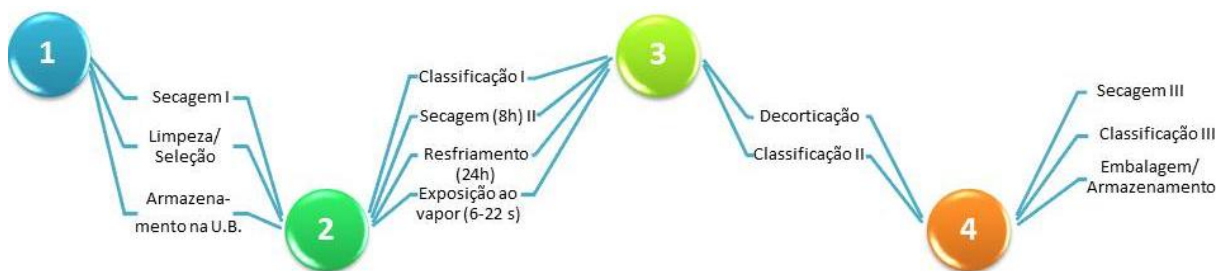
### 2.2.2 Processamento da Castanha do Brasil na Unidade de Beneficiamento

Recebidas as castanhas na unidade de beneficiamento (UB) realiza-se a secagem, devido ao alto grau de umidade, pois a coleta e o transporte ocorrem no período chuvoso. Seguem-se a limpeza e seleção para posterior armazenagem. O armazenamento na UB é crítico, pois as castanhas são depositadas no chão expondo-as ao ar úmido, à contaminação por pragas e desenvolvimento de fungos. Segundo HOMMA e MENEZES (2008), os microrganismos se desenvolvem em produtos agrícolas com graus de umidade acima de 17% e são compostos principalmente por fungos dos gêneros *Aspergillus e Penicillium*. Os fungos *Aspergillus* são prejudiciais devido a produção de substâncias potencialmente cancerígena para o homem (CASTRILLÓN e PURCHIO, 1988; SIMÕES, 2004; EMBRAPA, 2009).

Retiradas do armazenamento, em preparação à decorticação, segue-se a classificação por peneiras oscilatórias seguindo de secagem com ar forçado aquecido, por 8 horas, e deposição no chão por 24 horas, para resfriar. Subsequentemente as castanhas são submetidas ao vapor d'água com alta pressão, cujo objetivo é facilitar a decorticação, pois este processo provoca o amolecimento da casca e da amêndoa tornando-as mais elásticas (ALMEIDA, 1963). Em seguida, ainda quentes, as castanhas são rompidas individualmente em máquinas manuais (HOMMA e MENEZES, 2008), ou por quebradores mecânicos (MARTINS, 2008). Na Inglaterra utiliza-se o congelamento das castanhas. Esse processo faz com que as cascas rompam-se quebrem facilmente por choque mecânico, o que facilita a decorticação coletiva das castanhas por agitação em recipientes apropriados. Esta tecnologia não foi adotada no Brasil pelo alto custo do investimento (ALMEIDA, 1963).

Finalmente, as amêndoas são classificadas como inteiras ou quebradas, adequadas ou impróprias para comercialização.

A última secagem é realizada em bateladas diferenciadas pelo tamanho, demandando 72h ou mais. A retirada da película remanescente ocorre juntamente com a classificação III, eliminando-se as amêndoas defeituosas. A embalagem é efetuada a vácuo seguido de armazenamento (HOMMA e MENEZES, 2008). A seguir o diagrama representado na Figura 7 ilustra-se as etapas na Unidade de beneficiamento.



**Figura 7.** Diagrama ilustrando as etapas executadas na unidade de beneficiamento para castanha do Brasil.

Segundo MARTINS et al. (2008) os principais desafios enfrentados no beneficiamento são a qualidade e a otimização do processo produtivo para que a castanha possa competir nos mercados internos e externos, SILVA, et al. (2010) ressalta ainda que os problemas tecnológicos na cadeia produtiva da castanha do Brasil ocorrem em todo o país, algumas etapas permanecem inalteradas há séculos, e esta estagnação trouxe perdas de competitividade do produto nacional.

### 2.2.3 Classificação

A classificação é o ato de determinar a qualidade visual e interna de um produto vegetal, seus subprodutos e resíduos, com base em padrões oficiais. A estrutura técnica e operacional qualificada para atender as necessidades dos consumidores necessita de classificadores registrados no MAPA, equipamentos aferidos pelo Inmetro e habilitação para classificar produtos com padrão oficial do MAPA (CEAGESP, 2004). A classificação apresenta inúmeras vantagens, como a possibilidade de selecionar produtos com destinação específica e auxílio na comercialização dos produtos, informando a sua qualidade e diferencial de preços.

O Serviço de Classificação Vegetal é regido pela Lei Federal n.º 9972/00, regulamentada pelo Decreto n.º 6268, de 22 de novembro de 2007. Esta Lei tornou a classificação obrigatória para os produtos vegetais, seus subprodutos e resíduos de valor econômico: quando destinados diretamente à alimentação humana; nas operações de compra e venda do Poder Público e nos portos, aeroportos e postos de fronteiras, quando da importação (BRASIL, 2007), no entanto para a castanha do Brasil ainda não há uma classificação



adequada bem como um equipamento que possa classificar com precisão, sendo hoje realizada visual e manualmente.

Segundo GAZZOLA e SIMON (2003) a classificação de frutas é em seis grandes grupos ficando a castanha do Brasil no grupo de nozes e frutas secas. No beneficiamento as castanhas são classificadas de acordo com a Portaria Ministerial nº 846 de 08 de 11 de 1976. Na Figura 8, pode-se observar a classificação pelo tamanho para sementes e amêndoas inteiras, perfeitamente desenvolvidas de cor natural e condições sanitárias satisfatórias (BRASIL, 1976).

Castanha em casca/Unidade em 453g	Natural	Desidratada e desidratada polida, colorida ou não	Amêndoa / Unidade em 453g	Amêndoa com e sem película
Extra Grande	< 36	< 46	Miudinha	> 180
Grande	36 a 40	46 a 50	Miúda	160 a 180
Semigrande	41 a 45	51 a 55	Pequena	140 a 159
Extra média	46 a 50	56 a 62	Média	115 a 139
Média	51 a 58	57 a 68	Extra média	102 a 114
Pequena	> 58	< 68	Grande	< 102
Valores validos para castanhas com o teor de umidade entre 11% e 15%			Rompida	–
			Quebrada	–

**Figura 8.** Quadro sinóptico para classificação das castanhas, adaptado de BRASIL, 1976.

## 2.3 PROPRIEDADES FÍSICAS E MECÂNICAS

O conhecimento das propriedades físicas de produtos agrícolas é de fundamental importância para uma correta conservação e para o dimensionamento e operação dos equipamentos responsáveis por suas principais operações pós-colheita. A fim de minimizar os custos de produção, aumentando a competitividade e a melhoria da qualidade do produto processado, a avaliação e o conhecimento do comportamento das propriedades físicas dos frutos e grãos são os principais fatores a contribuir para o adequado desenvolvimento de

processos e simulações que visam aperfeiçoar o sistema produtivo de diversas culturas (MOHSEIN, 1986; AFONSO JUNIOR, 2001).

### *Umidade e materiais voláteis*

Existem diversos métodos para determinação de umidade, que podem ser classificados em diretos e indiretos. Os métodos diretos medem o conteúdo de água diretamente e podem ser destrutivos quando modificam ou destroem os grãos durante o processo de medição, ou não-destrutivos, quando preservam a integridade dos mesmos (LUZ, 2002). A metodologia da estufa pode ser utilizada para qualquer semente, mas isso não significa que terá a mesma precisão (TILLMAN, 1993), em virtude das diferentes formas e tamanhos dos materiais avaliados. CAMARGO e CARVALHO (1997) compararam métodos em estufas, para determinação de umidade em sementes de castanha do Brasil, utilizando sementes inteiras (105°C por 24 horas) e cascas e amêndoas moídas (103°C durante 17 horas e 130°C durante 1 hora), e concluíram que quando inteiras os resultados não diferem entre si e quando moídas os resultados se subestimam devido à facilidade de perda de água.

Uma metodologia diferenciada foi utilizada nesta pesquisa para esta determinação. A norma ASAE S410.1 (ASAE, 1992) descrita para determinação de umidade de amendoim que visa a uniformidade utilizando a variância da umidade do material com casca e sem casca.

### *Resistência mecânica*

Segundo SMITH (2002), a resistência mecânica pode ser considerada um parâmetro físico-mecânico. É também conhecida como textura ou firmeza, e é para os consumidores um parâmetro de qualidade nos alimentos (FELLOWS, 2006).

Os ensaios mecânicos para determinação de firmeza de alimentos vêm evoluindo gradativamente ao longo dos anos, podendo ser classificados em destrutivos ou não-destrutivos, a maioria dos testes tem como base a compressão e como resposta a tensão de cisalhamento, deformação, vibração sônica, entre outros (ARANA, 2012).

Vários trabalhos demonstram que processamentos influenciam na firmeza dos alimentos (UZOGARA et al.,1992; SMITH et al., 2002; ARAÚJO, 2005; RASTOGI et al., 2008; LATORRE et al., 2012). Logo, a determinação deste parâmetro pode ser um fator que auxilia a compreensão dos efeitos de condicionamentos aplicados, no caso da presente pesquisa, na castanha do Brasil.

### *Decorticação*

Propriedades mecânicas são utilizadas em pesquisas referentes à decorticação de produtos agrícolas. Dentre diversos autores destacam-se RODRIGUES, 1996; FERRAZ et al., 1997; BALASUBRAMANIAN, 2001; ARAÚJO, 2005; ARAÚJO e FERRAZ, 2006; FERRAZ et al., 2007; ARAÚJO e FERRAZ, 2008; BASTOS, 2011 e HAMA et al., 2011.

Produtos agrícolas possuem comportamento viscoelástico, isto é, apresentam atributos elásticos e viscosos simultaneamente (MOHSENIN, 1986; DAVID e MISRA, 2001). Essa resposta viscoelástica foi utilizada por ARAÚJO (2005) para romper a casca de castanha de caju. O autor apresentou então o princípio da Deformação Específica Limite (DEL), onde altas taxas de deformação, limitadas mecanicamente, são aplicadas para promover altas tensões resultando na ruptura da casca com pequena deformação específica. Segue-se que as deformações da amêndoa também são pequenas potencializando a liberação de amêndoas inteiras.

O mesmo autor avaliou o efeito do tratamento térmico na castanha de caju utilizando alta taxa de deformação e DEL de 19% e obteve 87,5% de amêndoas inteiras. FERRAZ et al. (2007), utilizando castanha do Brasil e os mesmos procedimentos, porém com DEL de 8%, obtiveram 50% de amêndoas inteiras. Este princípio será abordado em parte desta pesquisa.

## **2.4 CONDICIONAMENTO**

O condicionamento é comumente utilizado no beneficiamento de várias oleaginosas para facilitar a retirada do tegumento ou mesmo a extração do óleo, como é o caso da andiroba

(*Carapa guianensis* ssp.), pracaxi (*Pentacletrha filamentosai* ssp.), murumurú (*Astrocarium murumuru* ssp.), castanha do Brasil (*Bertholletia excelsia* ssp.), entre outras espécies amazônicas (PESCE, 2009). Estes condicionamentos, muito embora essenciais ao bom desempenho do processo, são aplicados de forma empírica, e não foram encontrados estudos que os relacionem com a qualidade do óleo obtido após o processamento com modificações nas propriedades fitoquímicas.

Sabe-se que os condicionamentos utilizando calor podem ser aplicados industrialmente visando qualidade sensorial e conservação dos alimentos. No entanto a utilização incorreta pode causar alterações nas propriedades nutricionais de produtos alimentícios ao destruir vitaminas termoláveis, gelatinizar o amido, destruir aminoácidos e reduzir o valor biológico de proteínas, alterar a textura, e ainda causar a oxidação dos lipídios. Esses fatores diminuem a qualidade sensorial e, por consequência, o valor comercial (FELLOWS, 2006).

Apesar do crescente interesse pela utilização de espécies da floresta amazônica, que há muito tempo já são utilizados por habitantes da Amazônia, as questões tecnológicas visando culturas específicas foram pouco exploradas, por esta razão muitos equipamentos não são adequados, o que por vezes acarreta em baixo aproveitamento, com desperdício de matéria-prima ou aumentando os gastos com o reprocessamento.

Para facilitar o rompimento manual do tegumento lenhoso da castanha do Brasil algumas indústrias utilizam autoclave, neste caso não se tem parâmetros de temperatura e pressão, pois o equipamento é automático; outras indústrias utilizam vapor e pressão, provenientes de caldeira, sendo a aplicação de forma empírica e testes de liberação vão sendo realizados para saber se o rompimento está sendo efetivo. Os redutos de informação são limitados às empresas de beneficiamento que se reservam o direito de não revelar seus parâmetros de operação. As informações obtidas de outras fontes geralmente são vagas e realizadas sem as especificidades necessárias para gerar informações úteis para melhoria dos processos e desenvolvimento de decortadores. Uma indústria localizada em Óbidos-PA informou que aplicam vapor em média 3 vezes até pressão aproximada de 480 kPa, permanecendo por alguns segundos em cada batelada.

Para HOMMA e MENEZES (2008), o tempo excessivo de exposição da castanha do Brasil ao condicionamento pode causar alterações na cor da amêndoa e, para MARTINS (2008) a pouca exposição pode não ter efeito no desprendimento entre a amêndoa e a casca. Apesar dos referidos autores citarem partes dos processos, há ausência de informações concernentes à decorticação da castanha do Brasil.

A alta pressão vem sendo muito utilizada na pasteurização, esterilização e inativação de enzimas (PLANCKEN et al., 2008) e pesquisas tem se direcionado sobre os efeitos de processos térmicos na degradação e perdas nos alimentos, principalmente em alimentos com compostos bioativos e antioxidantes (OEY et al., 2008; OMS-OLIU et al., 2012).

Assim como a alta pressão, a secagem também vem sendo aplicada e estudada em processos e sua principal finalidade é conservar alimentos. Segundo a EMBRAPA (2010), a secagem pode prolongar a vida útil devido à diminuição das atividades metabólicas, alguns nutrientes são concentrados com a perda de água e dependendo do secador pode-se reduzir o custo de processos, no entanto, para alguns alimentos a secagem também pode acarretar no escurecimento enzimático e não enzimático, oxidação de lipídios e vitaminas e degradação de pigmentos. Logo os métodos e seus parâmetros devem ser estudados para minimizar as perdas.

Dentre os tipos de secagens e secadores, pode-se citar a secagem por radiação infravermelha (IV). A radiação IV é eletromagnética, não necessita de um meio para se propagar, e ao ser absorvida transfere sua energia para os materiais aquecendo-os. A taxa de transferência depende principalmente da temperatura, propriedades e geometria das superfícies que emitem e recebem a radiação (FELLOWS, 2006). As faixas de comprimento de onda da radiação IV que mais são absorvidas por lipídios são 3-4, 6 e 9-10  $\lambda$ . Já para a água as faixas são 3, 4.7, 6 e 15.3  $\lambda$  (SANDU, 1986).

Segundo PARK et al. (2007) a radiação infravermelha, caracteristicamente possui baixa capacidade de penetração nos materiais. Essa característica foi considerada neste trabalho, de forma inovadora, para desidratar a casca da castanha do Brasil, alterando suas propriedades mecânicas pra facilitar a decorticação, sem atingir a amêndoa.

## 2.5 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

O planejamento experimental foi introduzido em 1950 por G. E. P. Box, e com o advento da globalização, trazendo a facilidade do uso de softwares para análises estatísticas, sua utilização vem crescendo significativamente (BARROS, et al. 1996).

Segundo RODRIGUES e IEMMA (2009), a utilização de planejamento experimental para otimização de processos produtivos é relevante para obtenção de resultados confiáveis, principalmente para serem analisados estatisticamente. Assim, o planejamento experimental proporciona a quantificação dos efeitos das variáveis do processo sob as respostas desejadas. Como vantagens tem-se a redução das repetições com consequente redução dos custos e do tempo da pesquisa, análise simultânea dos fatores sinérgicos e antagônicos de interesse, otimização de mais de uma resposta ao mesmo tempo, além da possibilidade de calcular o erro experimental que é responsável pelo nível de confiança estatística da estimativa de reprodutibilidade do experimento.

Geralmente, para avaliar as respostas da otimização de experimentos utiliza-se uma ferramenta eficiente, a Metodologia de Superfície de Respostas (MSR). Tal metodologia avalia, por meio de cálculos matemáticos e estatísticos, a influência das variáveis nos processos, o que viabiliza a percepção dos pontos ótimos encontrados na combinação dos níveis dos fatores ou variáveis (GRIZOTTO, et al. 2005).

Segundo COLLA (2008), dependendo do número inicial de variáveis independentes pode-se ter uma estratégia sequencial de planejamentos. Porém, no caso de 2 ou 3 variáveis independentes, RODRIGUES e IEMMA (2009) recomendam a utilização do Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). A seguir serão descritas as etapas a serem realizadas na otimização do processo:

- ✓ Definição dos objetivos a serem alcançados (com definições das variáveis independentes, restrições dos processos e respostas desejadas);
- ✓ Elaboração dos procedimentos experimentais (nível do planejamento);
- ✓ Realização dos experimentos, obtenção e análise das respostas;
- ✓ Calcular os efeitos das variáveis e seus erros, analisando estatisticamente;
- ✓ Elaboração dos modelos preditivos em função das respostas obtidas;

- ✓ Verificar o ajuste do modelo pela Análise de variância (ANOVA) e através do modelo ajustado, calcular as respostas e os desvios entre o modelo experimental e o preditivo;
- ✓ Gerar superfície de resposta e curvas de contorno para análise e definição das faixas ótimas de cada variável;
- ✓ Validação experimental com ensaios nas condições otimizadas.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Os equipamentos e reagentes utilizados são listados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Equipamentos e reagentes.

<i>Descrição</i>	<i>Equipamentos</i>		<i>Reagentes</i>
	<i>Marca</i>	<i>Modelo</i>	
Balança analítica	SHIMADZU	AW-220; 0,1mg	Hidróxido de sódio
Estufa	Nova Ética	400/7D	Fenolftaleína
Prensa hidráulica	Nowak	PM15TUN-80kgf/cm <sup>2</sup>	Éter etílico
Maquina universal de ensaios	Lloyd Instruments	TA 500 Texture analyser	Etanol
Sistema de aquisição de dados	Lloyd Instruments	NEXYGEN 3.0	Ácido clorídrico
Multiprocessador	Walita	MegaMaster	
Data logger	Coler Parmer Instruments	92000-00 Benchtop	
Termopares	TCMINOSE	L47575/1 e 2, Tipo J	
Notebook	HP	Pavilion ZE2410	
Paquímetro digital	STARREDDT	727-2001	
Termohigrometro	ICELmanaus	HT-208	
Cola	ARALDITE	Rápida	

#### *Castanha do Brasil*

Foram obtidas no CEAGESP em São Paulo, sendo o transporte para a FEAGRI realizado via terrestre onde foi armazenada no Laboratório de Tecnologia Pós Colheita na FEAGRI em sacos plásticos, de 40 litros, sob refrigeração à  $10 \pm 3^\circ \text{C}$ .

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DA CASTANHA

*Classificação e seleção:* realizadas visualmente separando-se as castanhas íntegras com tamanho aproximado de 4 cm.



*Resistência mecânica da amêndoa:* os ensaios foram realizados com as amêndoas em equilíbrio com a temperatura ambiente. Cada amêndoa (Figura 9) foi colocada na posição de repouso sobre o prato plano da máquina universal de ensaios (Lloyd Instruments<sup>®</sup>, TA 500 TEXTURE ANALYSER) e recebeu compressão com ponteira cilíndrica de 2mm de diâmetro. A taxa de deformação foi 0,6mm/s até atingir 30% da espessura da castanha no ponto de contato. Para cada tratamento foram utilizadas 25 amêndoas.



**Figura 9.** Ensaio de penetração com ponteira cilíndrica de uma amêndoa.

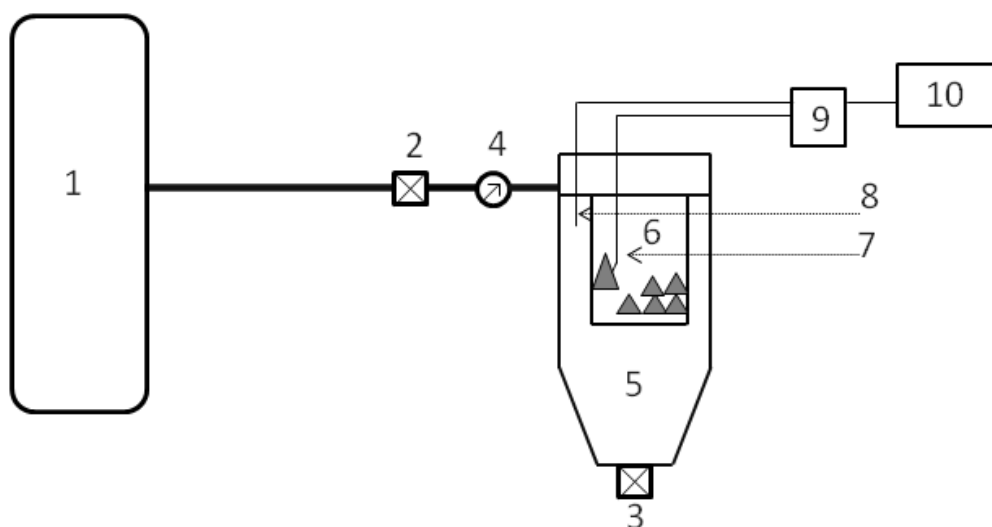
Como índice de resistência foi utilizado o valor energia até 7% de deformação. A região preferencial para a penetração foi central, buscando estabilidade da amêndoa horizontalmente.

*Teor de Umidade:* determinado para castanha e amêndoa, antes e após os tratamentos térmicos, segundo determinações da norma ASAE S410.1 (1992). A temperatura utilizada foi  $100 \pm 3^{\circ}\text{C}$  por 72 h, onde cerca de 200g de castanhas previamente selecionadas, foram quebradas e separadas em cascas e amêndoas e novamente pesadas. Os resultados estão expressos em porcentagens da massa inicial.

*Ácidos graxos livres:* a extração do óleo foi realizada conforme ensaios preliminares (Anexo 1) e o método para a determinação da acidez, calculada em ácido oléico, foi 325/IV (LUTZ, 2005).

### 3.2. CONDICIONAMENTO COM VAPOR SOB PRESSÃO

Para a aplicação do condicionamento com vapor sob pressão, utilizou-se o mesmo aparato experimental dos ensaios preliminares (ANEXO 1). No entanto, o vaso para pressão foi instrumentado com dois termopares tipo J (de roscas de fixação) e um sistema de aquisição de dados composto de datalogger da Cole Parmer instrument® (modelo 92000-00) e notebook HP, pavilion ze2410, conforme ilustram as Figuras 10 e 11.

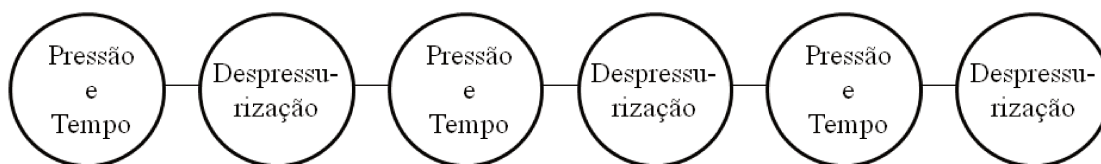


**Figura 10.** Ilustração do aparato experimental, utilizado nos ensaios com vapor sob pressão. Onde: 1, caldeira; 2, válvula manual de controle para entrada do vapor; 3, válvula manual de saída do vapor/expurgo; 4, manômetro; 5, vaso de pressão; 6, cesto para depósito das castanhas; 7, termopar instrumentado na castanha; 8, termopar instrumentado no vaso de pressão; 9 datalogger; 10, notebook.



**Figura 11.** Aparato experimental utilizado nos ensaios com vapor e sua instrumentação com termopares indicadas pelas setas em vermelho.

O controle de entrada e saída do vapor foi realizado manualmente, por duas válvulas de esfera, e auxílio de um manômetro instalado na entrada de vapor do vaso. A válvula foi aberta até que a pressão desejada para o interior do vaso fosse alcançada, em média em 3 à 4 segundos, a pressão foi controlada com a válvula de forma manual para permanecer a mesma durante o tempo estabelecido, em seguida a válvula instalada abaixo do vaso de pressão era aberta para a despressurização completa do vaso. Estes procedimentos foram realizados 3 vezes em cada condicionamento conforme ilustrado na Figura 12.



**Figura 12.** Ilustração da forma de aplicação dos condicionamentos com vapor e pressão combinada com tempo.

Os tratamentos foram realizados de acordo com o Delineamento Composto Central Rotacional 2<sup>2</sup>, com 4 pontos axiais e 3 pontos centrais, totalizando 11 ensaios. As variáveis

consideradas foram tempo de exposição e a pressão de entrada do vapor sendo que os níveis reais e codificados de cada variável são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2.** Variáveis do DCCR para o estudo do condicionamento com vapor e pressão.

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha$ (-1,41)	-1	0	+1	$+\alpha$ (+1,41)
Pressão (kPa)	101,32	131,72	202,65	273,65	303,97
Tempo (s)	90	98,78	120	141,28	150

As faixas estudadas para as variáveis foram inicialmente definidas de acordo com os resultados dos ensaios preliminares (ANEXO 1). As matrizes, real e codificada, com as combinações dos tratamentos estão dispostas na Tabela 3, com valores arredondados utilizados na realização do experimento.

**Tabela 3.** Matriz real e codificada para os condicionamentos com vapor.

Ensaio	Matriz codificada		Matriz real	
	Pressão (kPa)	Tempo (s)	Pressão (kPa)	Tempo (s)
1	-1	-1	132	100
2	1	-1	274	100
3	-1	1	132	141
4	1	1	274	141
5	-1,41	0	101	120
6	1,41	0	304	120
7	0	-1,41	203	90
8	0	1,41	203	150
9	0	0	203	120
10	0	0	203	120
11	0	0	203	120
<i>In natura</i> *	0	0	0	0

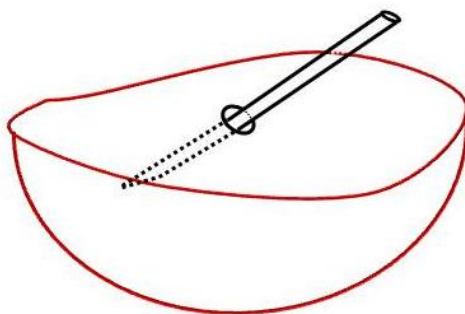
\* Não foi considerada no delineamento estatístico.

Após condicionamento, as castanhas foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno de 0,2 mc, depositadas em caixa térmica e transportadas até a FEAGRI. As avaliações foram realizadas em até 72h.

### 3.2.1 Avaliações para condicionamento com vapor

#### *Temperatura*

As variações de temperatura do vapor de entrada e no interior (amêndoa) das castanhas, foram medidas com os termopares tipo J. Para inserção do termopar na castanha fez-se um orifício utilizando-se de furadeira elétrica de impacto. Conforme ilustrado na Figura 13, o termopar foi inserido contíguo as bordas do furo, e vedado com cola de secagem rápida, ficando em repouso para a secagem por 1 minuto.



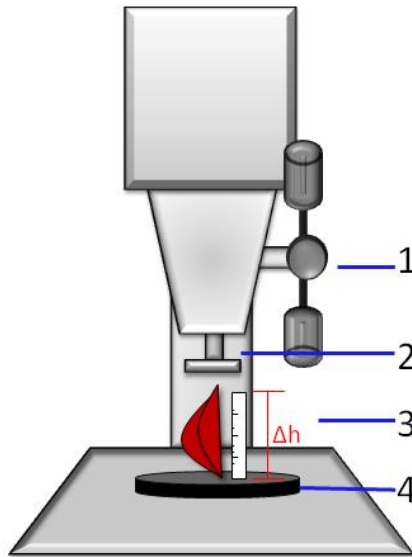
**Figura 13.** Posição do termopar na castanha.

A variação de temperatura dentro da castanha e do vapor foram registradas para as pressões 101, 202 e 304 kPa durante 150s com cinco repetições. O início da aquisição de dados ocorreu ao mesmo tempo da liberação do vapor no vaso de pressão e foi programada para ocorrer a cada 5 segundos.

Realizou-se teste de comparação de médias (Tukey,  $p \leq 0,05$ ) entre as diferenças de temperaturas observadas aos 20s.

#### *Decorticação utilizando baixa taxa de deformação*

Para os ensaios a baixa taxa de deformação adaptou-se uma furadeira de bancada, com uma base plana e um prato plano acoplado ao cone morse da furadeira. Para conhecer as medidas antes e após a deformação, uma régua plástica foi colada na base plana (Figura 14).



**Figura 14.** Adaptação da furadeira de bancada utilizada para decorticação à baixa taxa de deformação. Onde 1, alavanca; 2, Êmbolo adaptado no cone morse; 3, Régua; 4, Base plana.

#### *Avaliação do desempenho da decorticação*

Inicialmente o operador foi treinado para que pudesse repetir sempre o mesmo procedimento. Foram realizados 5 ensaios preliminares estabelecendo a deformação específica (DE) média a ser aplicada. O comprimento inicial e final das castanhas foi medido com auxílio de paquímetro digital, com precisão de 0,01mm. Depositaram-se as castanhas sobre a base, alinhadas longitudinalmente com a régua, e então foi aplicada a força com baixa taxa de deformação até que se visualizasse o rompimento do tegumento, sem rescindir a amêndoa. A Equação (1) nos deu a deformação específica a ser aplicada nas demais castanhas (40 unidades por tratamento).

$$D = (\Delta h / h_0) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde: D: deformação específica,  $\Delta h$  = variação da altura e  $h_0$  = altura final.

A avaliação do desempenho foi realizada quantificando-se três categorias: amêndoas liberadas, parcialmente liberadas e não liberadas. Dentro das categorias as amêndoas foram subdivididas nas classes: íntegra, pouco danificada-quebrada e com mais de 20% de danos-

quebradas. O desempenho de cada categoria foi expresso em porcentagem do número total de castanhas decorticadas.

#### *Avaliação do efeito do condicionamento na qualidade da amêndoa*

Após a decorticação e respectiva avaliação de desempenho as amêndoas foram acondicionadas novamente em sacos plásticos, e levadas ao Laboratório de Propriedades Mecânicas e Laboratório de Pós-Colheita, ambos na FEAGRI, onde foram realizadas análises de:

*Resistência mecânica da amêndoa:* Descritos na etapa da caracterização;

*Ácidos graxos livres:* Descritos na etapa da caracterização;

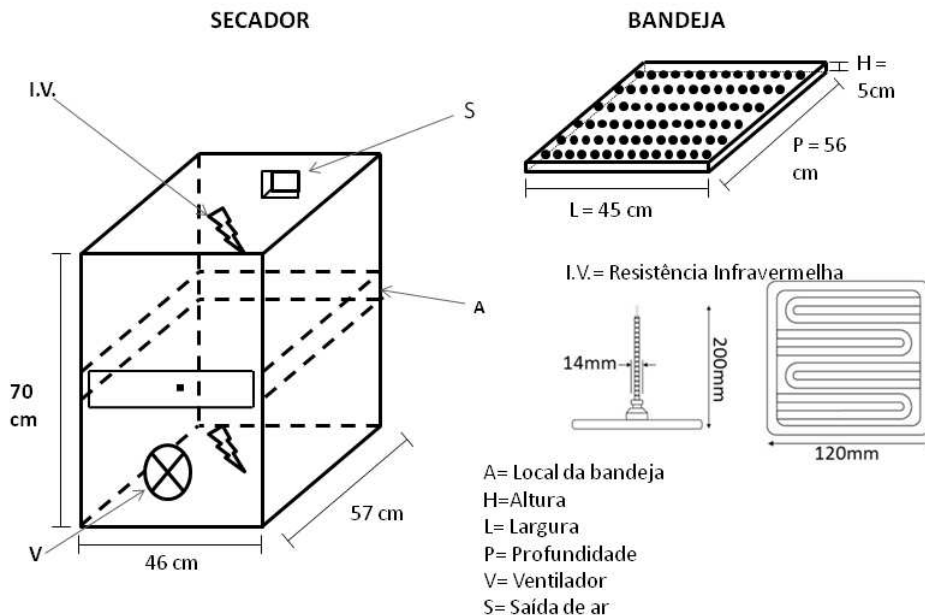
*Teor de água:* Descritos na etapa da caracterização.

#### *Análise dos resultados*

Os resultados obtidos para resistência mecânica, ácidos graxos livres e umidade foram tratados com o auxílio do programa STATISTICA® 7.0 para a obtenção de um modelo quadrático referente às classes de amêndoas liberadas e não liberadas, resistência mecânica da amêndoa e qualidade do óleo em função das variáveis tempo de exposição ao vapor e pressão. A adequação do modelo foi avaliada por análise de variância (ANOVA) e, quando válidos os modelos, foram obtidas as superfícies de respostas para cada uma das respostas analisadas.

### **3.3 CONDICIONAMENTO COM RADIAÇÃO INFRAVERMELHA**

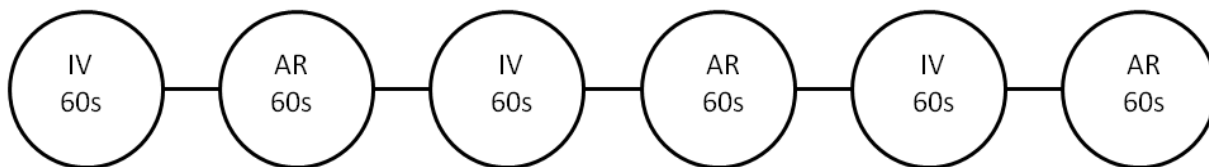
Um secador de radiação infravermelha foi projetado e construído no Laboratório de Protótipos da FEAGRI. Apresenta corpo em aço inoxidável revestido por placas de lã de rocha; 2 resistências em cerâmica quartzo (Eletrothermo®, modelo 2FTQZ) com faixa de radiação de 4 a 7 $\mu$ m, no infravermelho (IV), e potência de 1000W cada uma; ventilador radial (Asten®, modelo VS100TD), com vazão de 6,3m<sup>3</sup>/minuto e potência de 50W; e um sensor de temperatura PT-100 (COEL®, modelo TR-106-S-B-304). Na Figura 15, ilustram-se, esquematicamente, as principais características do secador projetado.



**Figura 15.** Aspectos dimensionais e construtivos do secador infravermelho utilizado para secagem da castanha.

As resistências foram fixadas de forma que suas extremidades ficaram a 150 mm, acima e abaixo da bandeja. As castanhas foram dispostas sempre dentro de uma mesma área lado a lado uniformemente e preenchendo a superfície. Durante a secagem os dados de temperatura de dentro da castanha (amêndoa) foram coletadas com auxílio de termopar posicionado da mesma forma como nos condicionamentos com vapor descrito no item 3.2. A temperatura externa e umidade relativa do ar na entrada do secador foram conferidas com auxílio de termohigrômetro (ICELmanaus<sup>®</sup>, modelo HT-208).

Os condicionamentos com IV foram realizados com 3 intervalos de tempo de aplicação e 3 intervalos de tempo de resfriamento, intercaladamente, conforme ilustra Figura 16. Para cada tratamento foram utilizadas 25 castanhas de cada vez.



**Figura 16.** Ilustração da forma de aplicação do tratamento 1.



As variáveis estudadas foram tempo de exposição à radiação IV e a deformação específica, os níveis reais e codificados de cada variável são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Variáveis do DCCR para o estudo do tratamento com aplicação de radiação infravermelha.

Variáveis	Níveis				
	$-\alpha$ (-1,41)	-1	0	+1	$+\alpha$ (+1,41)
Tempo (s)	30	60	135	210	240
Deformação (%)	4	5,1	8	10,8	12

DCCR: Delineamento composto central rotacional.

Os tratamentos foram realizados em Delineamento Composto Central Rotacional 2<sup>2</sup>, com 4 pontos axiais e 3 pontos centrais, em duplicata, totalizando 22 ensaios e a matriz real e codificada esta disposta na Tabela 5.

**Tabela 5.** Matriz real e codificada para os condicionamentos com radiação infravermelha.

Ensaio	Matriz Real		Matriz codificada	
	Tempo (s)	Deformação (mm)	Tempo	Deformação
1	60	5,16	-1	-1
2	210	5,16	1	-1
3	60	10,84	-1	1
4	210	10,84	1	1
5	30	8	-1,41	0
6	240	8	1,41	0
7	135	4	0	-1,41
8	135	12	0	1,41
9	135	8	0	0
10	135	8	0	0
11	135	8	0	0
<i>In natura</i> *	0	0	0	0

\* Não foi considerado no delineamento composto central rotacional.

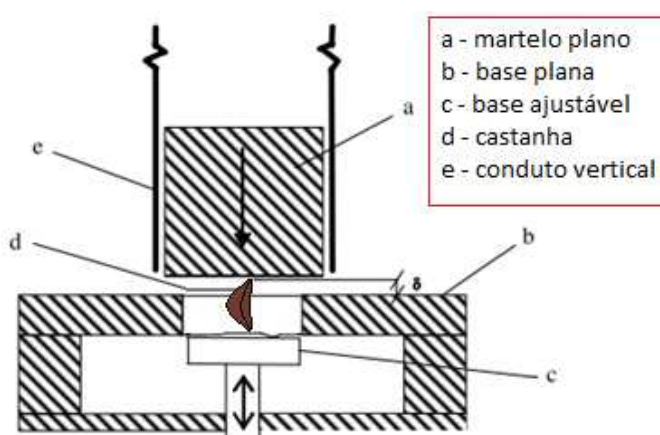
As faixas estudadas, para a variável tempo, foram definidas de acordo com os resultados dos ensaios preliminares e o ponto central da deformação específica foi estabelecido de acordo com resultados encontrados por FERRAZ et al. (2007).

Após a aplicação dos condicionamentos as castanhas foram acondicionadas em sacos plásticos de polietileno de 2mc, seladas em seladora manual e encaminhadas para o Laboratório de Protótipos da FEAGRI.

### 3.3.1 Avaliação para condicionamento com radiação infravermelha

#### *Aplicação de alta taxa de deformação associado à radiação infravermelha*

Para a aplicação de alta taxa de deformação utilizou-se o dispositivo de impacto único e direcionado projetado e construído na FEAGRI (ARAÚJO, 2005), ilustrado na Figura 17. As deformações foram aplicadas longitudinalmente na castanha com velocidade no início da deformação de 4,18m/s.



**Figura 17.** Representação esquemática do dispositivo de impacto mostrando a aplicação direcionada da força e deformação, adaptado de ARAÚJO e FERRAZ (2006).

#### *Avaliação do desempenho da decorticação*

O desempenho da decorticação foi avaliado, pré e pós-condicionamento, baseados no princípio da deformação específica limite proposto por ARAÚJO e FERRAZ (2006). A avaliação do desempenho foi realizada quantificando-se três categorias, as amêndoas liberadas, parcialmente liberadas e não liberadas, dentro das categorias as amêndoas foram subdivididas nas classes: íntegra, pouco danificada-quebrada e com mais de 20% de danos-

quebradas. O desempenho de cada categoria foi expresso em porcentagem do número total de castanhas decorticadas.

#### *Análise dos resultados*

Os resultados das classes de amêndoas liberadas foram analisados com o auxílio do programa STATISTICA® 7.0 para a obtenção de um modelo quadrático referente às classes de amêndoas liberadas e não liberadas em função das variáveis: tempo de exposição à radiação e deformação aplicada, dentro das faixas estudadas. A adequação do modelo foi avaliada por análise de variância (ANOVA) e, quando válidos os modelos, foram obtidas as superfícies de respostas.

#### *Avaliação do efeito do condicionamento na qualidade da amêndoa:*

##### *Índice de Acidez e resistência mecânica da amêndoa*

Foram realizados seguindo os procedimentos já descritos na etapa da caracterização e estes resultados foram avaliados por teste de médias (Tukey,  $p \leq 0,05$ ).

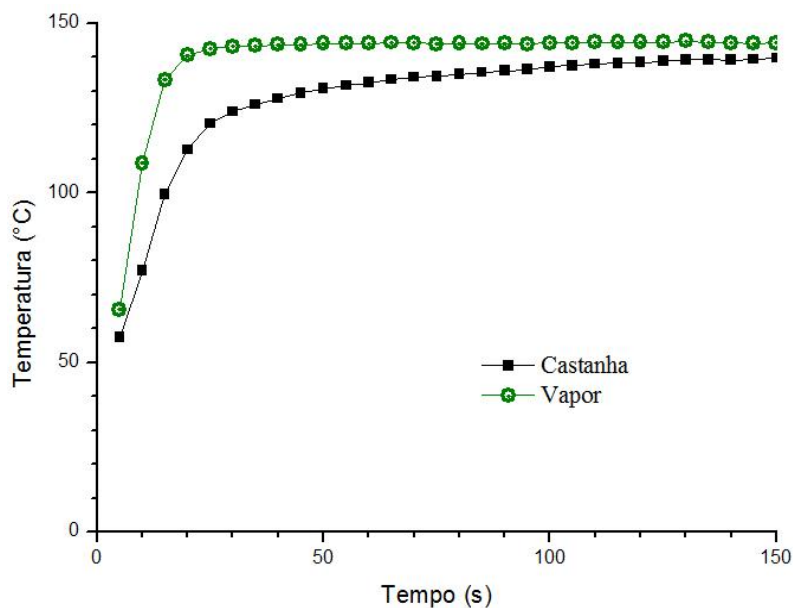
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

---

### 4.1 CONDICIONAMENTO COM VAPOR

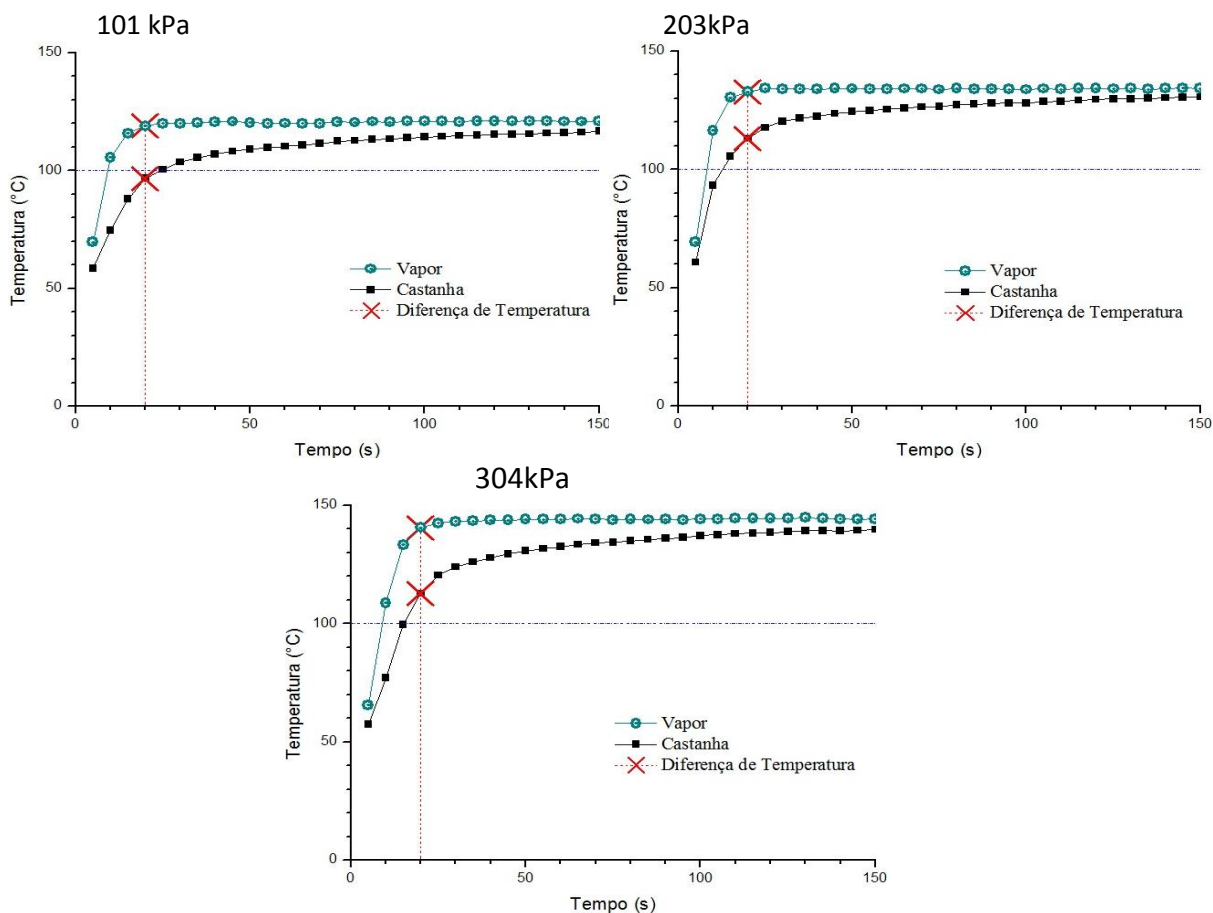
#### 4.1.1 Variação de temperatura durante aquecimento com vapor

As curvas das temperaturas medidas apresentaram comportamento similar, sendo possível diferenciar a temperatura do interior da castanha e a do vapor. Após os ensaios, observou-se um leve amolecimento da cola utilizada que pode ter ocorrido devido necessitar de 24hs para cura completa, isso não foi realizado, pois inviabilizaria esta etapa do experimento. Apresenta-se na Figura 18 uma das curvas que representa caracteristicamente as demais curvas obtidas.



**Figura 18.** Ilustração do comportamento da variação de temperatura na amêndoa e no vapor à 101 kPa durante 150s.

Em virtude disso foram geradas as curvas médias de variação da temperatura da amêndoa e do vapor, apresentadas na Figura 19.



**Figura 19.** Temperaturas médias medidas dentro das castanhas e no vapor durante 150s contínuos para 101 kPa, 203 kPa e 304 kPa.

Escolheu-se o tempo de 20s para comparar as diferenças ( $\Delta T$ ) de temperatura entre as curvas (Tabela 6), pois visualmente apresentou as maiores diferenças. No entanto, não se constatarem diferenças estatísticas significativas entre elas (Tukey,  $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 6.** Diferenças das temperaturas ( $^{\circ}\text{C}$ ) entre o vapor e castanha aos 20s de aplicação de vapor, com suas respectivas médias e coeficientes de variação.

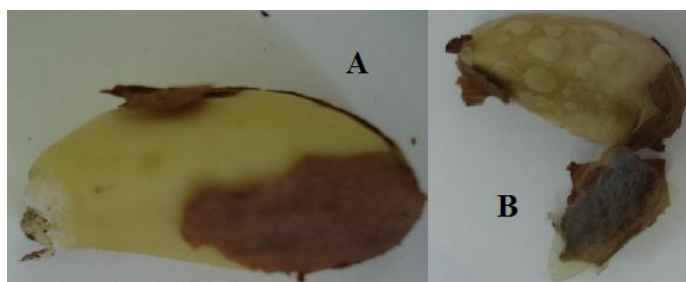
Ensaio	Pressão (kPa)		
	101	203	304
1	21,4	11,7	21,2
2	25,1	20	24,1
3	38,4	25,9	32,1
4	12,6	27,4	20,5
5	21,2	20	45,4
Média	23,74	21	28,66
CV (%)	39,56	29,49	36,39

$\Delta T$ : Diferença de temperatura; CV: Coeficiente de Variação.

No entanto, apesar de não haver diferença relativa, o aumento da pressão elevou a temperatura do processo, destacado como linha horizontal nas curvas, e nas linhas verticais observa-se também que em apenas 20s de exposição, para qualquer uma das pressões a temperatura no interior das castanhas é elevada rapidamente acima de 100°C, o que pode possibilitar perdas qualitativas devido a transformações bioquímicas, que neste estudo não foram abordadas.

Houve dificuldade em atingir a pressão desejada controlando-se manualmente a válvula de abertura de vapor, ressalta-se também que a instrumentação para aquisição dos dados de temperatura foi satisfatória, pois possibilitou diferenciar visualmente as temperaturas dentro da castanha e do vapor.

Para todos os tratamentos observou-se que as amêndoas sofreram mudança de coloração, tornando-se mais escuras. Nos tratamentos menos agressivos, somente a película externa se soltou (Figura 20A). Quanto aos tratamentos mais agressivos, isto é, maior pressão e temperatura, foi possível visualizar o desprendimento de várias camadas delgadas da amêndoa e formação de bolhas (Figura 20B).



**Figura 20.** Amêndoas provenientes dos tratamento T2 (A) e T8 (B).

#### **4.1.2 Avaliação do desempenho da decorticação**

Procurou-se aplicar uma deformação específica em torno de 26% para avaliar o desempenho da decorticação. No entanto, devido ao manuseio da prensa (furadeira de bancada adaptada), houve dificuldade em manter esse valor. As deformações médias obtidas são mostradas na Tabela 7.

**Tabela 7.** A composição dos tratamentos com vapor e a deformação específica aplicada com seu respectivo coeficiente de variação.

Tratamento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T0
Pressão (kPa)	152	253	152	253	101	304	203	203	203	203	203	0
Tempo (s)	100	100	141	141	120	120	90	150	120	120	120	0
M	26	24	26	26	27	24	29	23	28	28	25	24
CV(%)	21,01	12,75	19,12	20,14	13,69	14,75	23,33	8,59	19,55	15,88	25,44	21,28

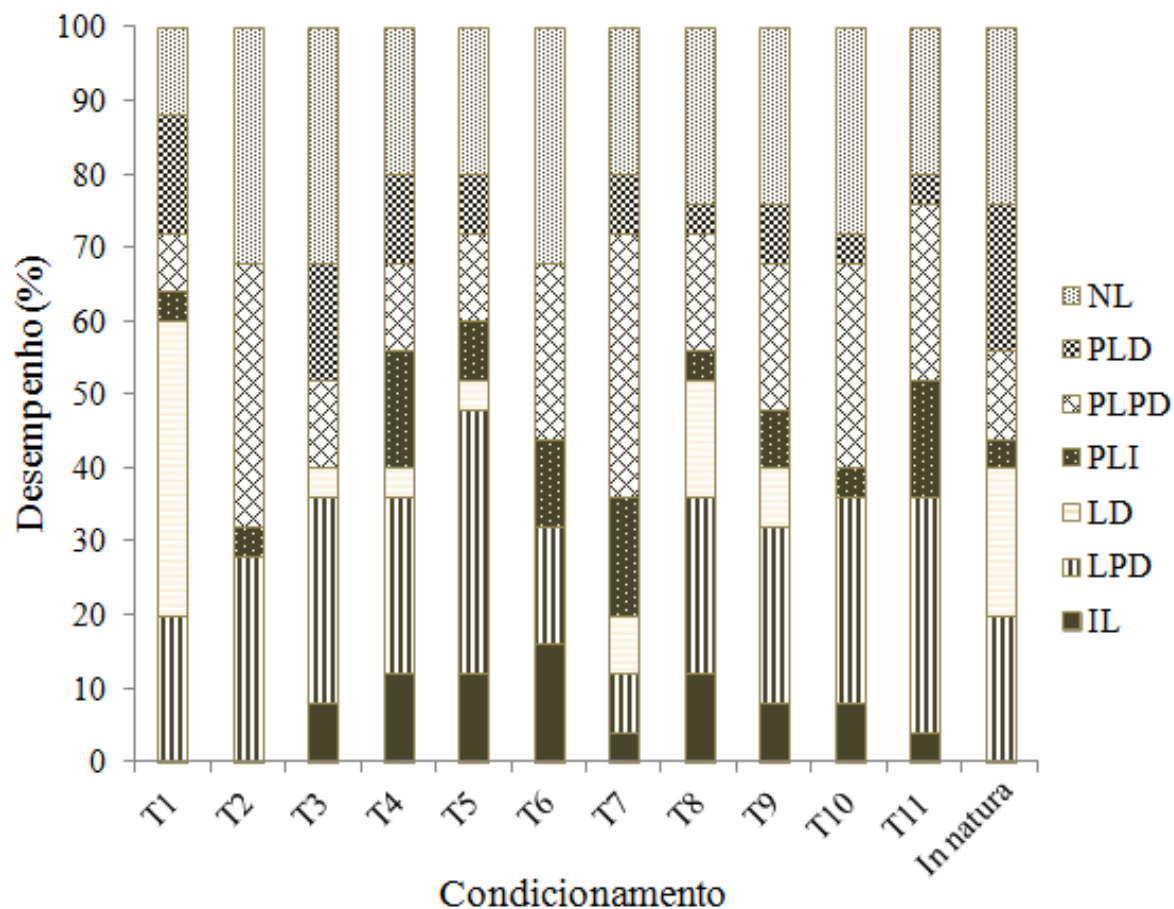
M: Média da deformação específica; CV: Coeficiente de Variação.

Os coeficientes de variação de até 25%, são considerados satisfatórios para materiais biológicos, no entanto, a metodologia poderia ser melhorada utilizando-se um limitador ajustável. Contudo, ressalta-se que, limitar a deformação aplicada, não pode ser considerado adequado para comparações de desempenho industrial, pois o operador industrial aplica a força até a liberação da amêndoa.

Percebeu-se também que, de maneira geral, o tratamento com vapor facilitou o rompimento dos tecidos da casca, e as amêndoas das castanhas condicionadas foram menos suscetíveis a múltiplos danos. Mesmo assim, a quantidade de amêndoas íntegras liberadas não pode ser considerada expressiva em vista ao processo industrial, devido, como já mencionado, a limitação da deformação aplicada, abordada para avaliar o processo em laboratório.

A Figura 21 apresenta o resultado do desempenho da decorticação em compressão longitudinal, à baixa taxa de deformação, para os tratamentos considerados.

Quanto ao desempenho da decorticação, não foi observada extremidade preferencial para a ruptura, pois os danos, mesmo que pequenos, ocorreram indistintamente em ambas extremidades.



**Figura 21.** Desempenho na decorticação à baixa taxa de deformação limitada para castanha do Brasil. A legenda consiste em: IL- *íntegra liberada*, LPD - *liberada parcialmente danificada*, LD - *liberada danificada*, PLI - *parcialmente liberada íntegra*, PLPD - *parcialmente liberada pouco danificada*, PLD - *parcialmente liberada danificada*, NL - *não liberada*, expressos em porcentagem para as combinações de condicionamento com diferentes tempos de exposição ao vapor e diferentes pressões.

A classe IL não ocorreu para o tratamento testemunha (*in natura*) e nos tratamentos T1 e T2, não sendo possível evidenciar uma relação no desempenho da decorticação ao aplicar o vapor sob pressão. Para os tratamentos T3 e T4, mesmas pressões e maior tempo que T1 e T2, a maior pressão, causou número maior de ocorrências das amêndoas liberadas (IL, LPD e LD). No entanto, essa relação de maior porcentagem de amêndoas liberadas com o aumento da pressão não ocorreu para os tratamentos T5 e T6.

Nos tratamentos T7 e T8, onde pode-se comparar o tempo mínimo e máximo para uma mesma pressão, o maior tempo de exposição ao vapor causou maior ocorrência de amêndoas liberadas na classe IL.



Para os demais tratamentos, T9, T10 e T11, onde se tem repetições de procedimentos, com ensaios para mesma pressão e tempo de exposição ao vapor, observa-se pouca variação no desempenho. Nos tratamentos T1, T2 e T0 a classe de amêndoas IL não foi observada.

### *Análise Estatística*

Para o cálculo dos efeitos, pelo teste de t de student ( $p \leq 0,1$ ), e análise de variância pelo teste de F (ANOVA), foi considerada a classe de *amêndoas liberadas* onde se agrupou IL, LD e LPD. Não foi realizada a análise estatística para as amêndoas não liberadas, agrupadas em PLI, PLPD, PLD e NL.

Os efeitos para os fatores da resposta *amêndoas liberadas* podem ser observados na Tabela 8, sendo a pressão significativa linearmente e a interação da pressão e tempo com valor muito próximo a 0,1, por isso, realizou-se outra análise pelo teste de t student para estes.

**Tabela 8.** Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística à  $p \leq 0,1$ , para amêndoas liberadas (%).

<b>Fatores</b>	<b>Efeito Estimado</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>p - valor</b>
Média	37,33	5,07	0
Pressão (kPa)(L)	-15,07	6,20	0,06
Pressão (kPa)(Q)	6,17	7,38	0,44
Tempo (s)(L)	9,31	6,20	0,19
Tempo (s)(Q)	0,17	7,38	0,98
Interação	16,00	8,77	0,13

L: Linear; Q: Quadrático.

O p-valor da interação (pressão e tempo) foi de 0,11, considerado na ANOVA (Tabela 9), que foi realizada para a visualização do coeficiente de correlação.

Apesar de a ANOVA ser válida pela relação de 1,48 do F calculado para o F tabelado, a superfície de resposta não foi construída, pois o coeficiente de correlação é considerado muito baixo ( $R^2 = 53,55$ ).

**Tabela 9.** Análise de variância do modelo ajustado para amêndoas liberadas.

Fonte de variação	SQ	GI	QM	F	Ftab	F/Ftab
<b>Regressão</b>	710,27	2	355,14	4,61	3,11	1,48
<b>Resíduos</b>	616,27	8	77,03			
<b>Falta de Ajuste</b>	605,605	6	100,93	18,93	9,33	
<b>Erro Puro</b>	10,667	2	5,33			
<b>Total</b>	1326,545	10	132,65			<b>R<sup>2</sup> =53,55%</b>

SQ: Soma dos quadrados; GI: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio; F: F calculado; Ftab: F tabelado; R<sup>2</sup>: Coeficiente de correlação.

Embora a pressão tenha sido significativa, o coeficiente de correlação nos indica que o modelo não explica o processo, e, estatisticamente não foi possível evidenciar tratamentos que possibilitem maior quantidade de amêndoas liberadas devido a pouca resposta da castanha à deformação limitada, associada a combinações de pressões e tempos.

#### **4.2.2 Efeito do condicionamento com vapor sob pressão na qualidade da amêndoa**

##### *Teor de água e materiais voláteis*

A determinação da umidade com a utilização da metodologia da ASAE mostrou-se satisfatória para este estudo e seus valores podem ser observados na Tabela 10.

A absorção de água foi menor para a amêndoa que tem como maior constituinte o óleo dificultando a penetração da água (BORGES e PELEG, 1997), mesmo sob maior pressão (T6). Já para a casca, pode-se atribuir a maior absorção de água por estar diretamente em contato com o vapor e ser porosa.

**Tabela 10.** Umidade relativa em b.u. (%) e os respectivos coeficientes de variação (CV), para casca e amêndoa dos tratamentos com vapor.

		Tratamentos											
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T0
<b>Casca</b>	Média	30,52	23,05	27,44	23,63	23,45	24,37	23,36	40,78	24,77	22,83	23,21	18,30
	CV(%)	6,42	58,93	34,14	8,37	4,47	3,12	8,53	37,62	6,84	23,37	6,19	1,51
<b>Amêndoa</b>	Média	7,90	6,69	6,19	6,06	7,03	6,99	6,64	7,87	7,72	6,48	7,74	4,81
	CV(%)	1,57	9,10	5,26	14,20	15,48	1,0	2,88	8,33	12,28	19,82	1,0	7,60

O tempo foi o que mais influenciou na variação do teor de água. Esse efeito é observado pela maior diferença do tempo de exposição dos tratamentos T7 e T8, pois para a mesma pressão e variação do tempo de 90 para 150s, a umidade da casca foi de 23,36 para 40,78% (b.u.), e a amêndoa teve aumento de 6,64 para 7,87% (b.u.). Nos tratamentos T9, T10 e T11, o ponto central, são observados valores próximos, o que indica uma boa repetibilidade dos tratamentos. Para todos os tratamentos, houve incremento no teor de água quando comparados com o teor das castanhas *in natura*. Os valores relativamente baixos dos coeficientes de variação evidenciam certa homogeneidade da absorção de água tanto na casca como na amêndoa.

O coeficiente de variação da casca variou de 6 à 59% e pode ter sofrido influência do método de determinação de umidade, pois as cascas deveriam ser reduzidas em partículas com tamanhos semelhantes, no entanto esta etapa foi dificultada pela resistência do material à fragmentação.

#### *Análise estatística*

Na Tabela 11 apresentam-se os valores para efeito estimado, erro padrão e grau de significância para a umidade da casca e amêndoa, onde observa-se não haver diferença significativa ( $p \leq 0,1$ ) entre os tratamentos, sugerindo que as combinações de pressão e tempo tiveram o mesmo efeito de umidificação. A proximidade dos valores do tempo de exposição ao vapor pode ter dificultado a discriminação das interações.

**Tabela 11.** Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística à  $p \leq 0,1$ , para a umidade da casca e amêndoa, nos tratamentos com vapor.

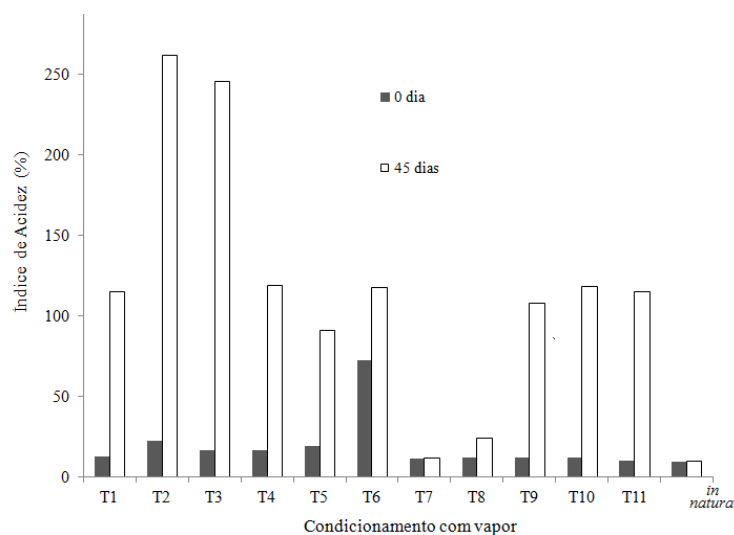
Fatores/Amostra	Efeito Estimado		Erro Padrão		p - valor	
	Casca	Amêndoa	Casca	Amêndoa	Casca	Amêndoa
Média	30,52	7,31	7,9	0,49	0	0
Pressão (L)	23,05	-0,17	6,69	0,3	0,5	0,59
Pressão (Q)	27,44	-0,26	6,19	0,36	0,89	0,5
Tempo (L)	23,63	-0,08	6,06	0,3	0,17	0,81
Tempo (Q)	23,45	-0,13	7,03	0,36	0,13	0,73
Interação	24,37	0,27	6,99	0,43	0,72	0,56

L: Linear; Q: Quadrático.

### Índice de Acidez

A Figura 22 apresenta os valores médios da acidez expressa em porcentagem de ácido oléico, realizadas aos 0 e 45 dias após os tratamentos.

Os condicionamentos T2 e T3 resultaram nos maiores aumentos do índice de acidez, assim como são expressivos os aumentos T1, T4, T5, T6, T9, T10 e T11, evidenciando que exposição à altas temperaturas decompõe as duplas ligações de óleos vegetais bem como o aquecimento intermitente e o oxigênio podem potencializar este efeito e causar a termo-oxidação (AHN et al., 2007).



**Figura 22.** Efeito da temperatura na acidez do óleo de castanha do Brasil expressa em acidez em ácido oléico (%) no dia 0 e aos 45 dias.

A Resolução RDC nº 270, de 22 de setembro de 2005, legislação vigente para óleos brutos no Brasil, estabelece o valor máximo de 4 mg KOH/g de acidez para óleos e gorduras brutos de origem vegetal (BRASIL, 2005). Convertendo-se os valores de acidez obtidos para mg KOH/g observa-se que, no dia 0, apenas os condicionamentos T2, T6 e T9 com 4,49; 14,38; 6,81mg KOH/g, respectivamente, não estão em conformidade com a legislação. Após 45 dias de armazenamento ao abrigo de luz e a temperatura ambiente, apenas o condicionamento T7, o menor tempo de exposição ao vapor, manteve a conformidade com índice de acidez de 2,3 mg KOH/g. Esse comportamento provavelmente ocorreu devido a oxidação hidrolítica não enzimática, que resulta em ácidos graxos livres quando o óleo é exposto a altas temperaturas em presença de água.

As castanhas do tratamento testemunha (*in natura*) não apresentaram variação do índice de acidez após 45 dias, mostrando conformidade com a legislação.

Os autores PENEDO e COELHO (1997), FERREIRA et al. (2006) e D'AVILA et al. (2011), determinaram valores de acidez de 2,05; 0,10 e 0,17, respectivamente, expressos em porcentagem de ácido oléico. Estes valores diferem dos encontrados na presente pesquisa. No entanto ressalta-se que as condições de armazenamento e a própria matéria prima são fatores que afetam os resultados.

### *Análise Estatística*

Na Tabela 12 pode-se observar os efeitos, erro padrão e p-valor para acidez expressa em ácido oléico para o dia zero.

**Tabela 12.** Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística à  $p \leq 0,05$ , para a Acidez em ácido oléico (%) no dia zero.

<b>Fatores</b>	<b>Efeito Estimado</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>p – valor</b>
Média	11,39	7,36	0,18
Pressão (L)	21,29	9,02	0,06
Pressão (Q)	28,40	10,73	0,05
Tempo (L)	-0,37	9,02	0,97
Tempo (Q)	-5,50	10,73	0,63
Interação	-5,06	12,75	0,71

L: Linear; Q: Quadrático.

A pressão foi significativa linear e quadraticamente, considerando  $p \leq 0,06$ , indicando que o incremento na pressão aumenta a acidez. A ANOVA e é apresentada na Tabela 13.

**Tabela 13.** Análise de variância para a resposta acidez em ácido oléico (%) para o dia zero.

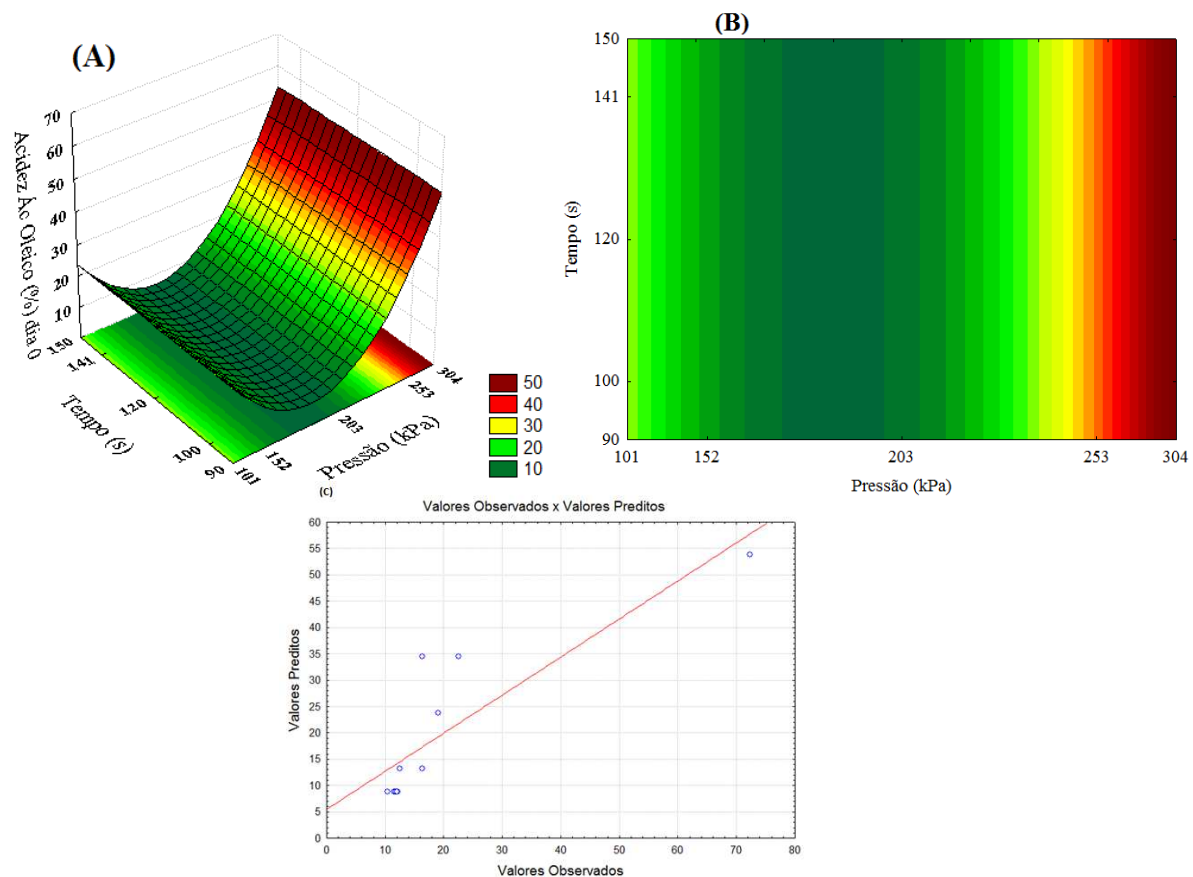
Fonte de variação	SQ	Gl	QM	F	F <sub>tab</sub>	F/F <sub>tab</sub>
<b>Regressão</b>	2298,72	2	1149,36	10,43	3,11	3,35
<b>Resíduos</b>	881,50	8	110,19			
<b>Falta de Ajuste</b>	879,93	6	146,65	186,77	9,33	
<b>Erro Puro</b>	1,57	2	0,79			
<b>Total</b>	3180,22	10	318,02			$R^2=72,28$

SQ: Soma dos quadrados; Gl: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio; F: F calculado; F<sub>tab</sub>: F tabelado; R<sup>2</sup>: Coeficiente de correlação.

Os efeitos não significativos ( $p > 0,06$ ) não foram considerados na ANOVA. O modelo gerado é considerado válido, pois o F calculado é maior que o F tabelado para a regressão. No entanto, o  $R^2=72,28\%$ , indica falta de ajuste no modelo.

Na Figura 23 (A) (B) e (C), apresentam-se a superfície de resposta, curva de contorno e gráfico de distribuição dos valores preditos pelo modelo e observados experimentalmente.

Na curva de contorno (B) observa-se que a maior pressão, para todos os tempos, eleva o índice de acidez em ácido oléico. No gráfico dos valores observados versus preditos, observa-se a falta de ajuste do modelo.



**Figura 23.** Superfície de resposta (a), curva de contorno (b) e valores previstos pelo modelo e observados experimentalmente (c) para o parâmetro tempo (s) de exposição ao vapor em função da pressão (kPa), referente a resposta acidez em ácido oléico (%) no dia 0.

Para a acidez em ácido oléico após 45 dias de armazenamento, observa-se os efeitos, erro padrão e p-valor na Tabela 14.

**Tabela 14.** Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística à  $p \leq 0,05$ , para a Acidez em ácido oléico (%) após 45 dias.

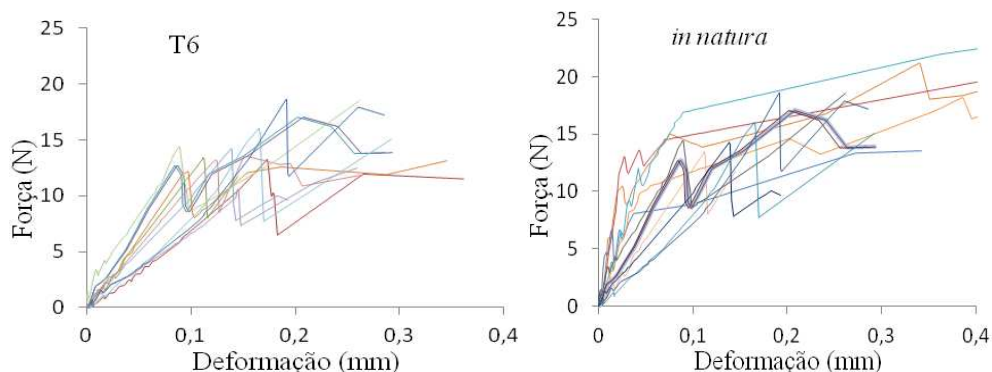
Fatores	Efeito Estimado	Erro Padrão	p - valor
Média	113,94	45,56	0,05
Pressão (L)	14,39	55,80	0,81
Pressão(Q)	52,76	66,41	0,46
Tempo (L)	1,45	55,80	0,98
Tempo (Q)	-33,91	66,41	0,63
Interação	-136,72	78,91	0,14

Q: quadrático; L: Linear.

Após 45 dias de armazenamento a temperatura ambiente e ao abrigo de luz, o índice de acidez em ácido oléico teve aumento visual. No entanto, este aumento não foi significativo ( $p \leq 0,05$ , Tabela 14), assim a realização da ANOVA não é necessária para essa resposta. Contudo, as interações podem ter sido subestimadas, devido variação nos valores do índice de acidez, indicados, na Tabela 14, pelos altos valores do erro padrão.

### *Resistência mecânica da amêndoa*

Na Figura 24 ilustram-se, caracteristicamente, as curvas força-deformação obtidas nos ensaios de penetração, evidenciando a resistência das amêndoas antes e após o condicionamento com aplicação de maior pressão.

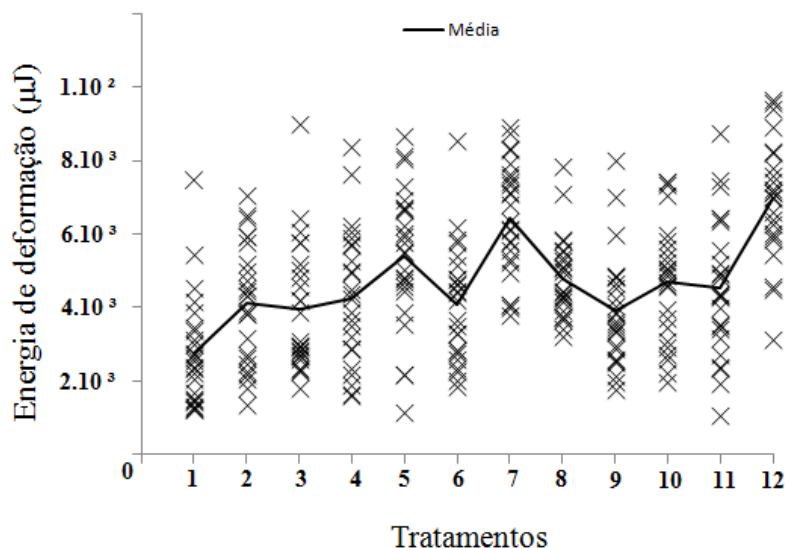


**Figura 24.** Curvas de Força (N) X Deformação (mm), características dos ensaios de penetração para o tratamento T6 e castanhas *in natura*.

A distribuição dos valores de deformação, até 7% de deformação específica para todos os ensaios são apresentadas na Figura 25.

Modificações por tratamento térmico com aumento de temperatura são utilizadas para o amolecimento do material biológico (SMITH et al., 2002), este comportamento ocorre em castanha d'água, por exemplo, devido a estabilidade térmica dos componentes da parede celular (PARKER e WALDRON, 1995). No entanto, nesta pesquisa, a grande variação dos dados não possibilitou distinção entre amêndoa submetida ao vapor e *in natura*.





**Figura 25.** Valores da Energia de deformação ( $\mu\text{J}$ ) para amêndoas de castanha do Brasil, submetidas as combinações de vapor aquecido e pressão.

Observa-se na Figura 24, grande dispersão dos valores, confirmados pelos altos coeficientes de variação (CV) entre 23,28 e 54,47% (Tabela 15).

**Tabela 15.** Médias da energia de deformação ( $\mu\text{J}$ ) e CV (%) para tratamentos com vapor e amêndoas *in natura*.

Tratamento	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	<i>in natura</i>
Energia ( $\cdot 10^{-3} \mu\text{J}$ )	2,77	4,1	3,97	4,26	5,42	4,08	6,42	4,78	3,86	4,71	4,54	6,96
CV (%)	54,47	39,92	43,20	42,94	34,85	38,61	24,01	23,28	39,63	34,35	41,09	26,26

CV: Coeficiente de variação.

Não foi possível reduzir os valores do CV, que também foram altos nos testes preliminares, mesmo mudando a forma de analisar os dados, indicando que o método do ensaio com ponteira cilíndrica pode não ser o mais adequado para amêndoas submetidas ao vapor.

#### *Análise estatística*

Os efeitos, erro padrão e p-valor, para resposta energia de deformação, podem ser visualizados na Tabela 16.

**Tabela 16.** Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística à  $p \leq 0,1$ , para energia de deformação das amêndoas.

<b>Fatores</b>	<b>Erro Estimado</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>p - valor</b>
Média	4,37	0,71	0,00
Pressão (L)	-0,07	0,87	0,94
Pressão (Q)	-0,31	1,03	0,77
Tempo (L)	-0,25	0,87	0,79
Tempo (Q)	0,54	1,03	0,62
Interação	-0,51	1,22	0,70

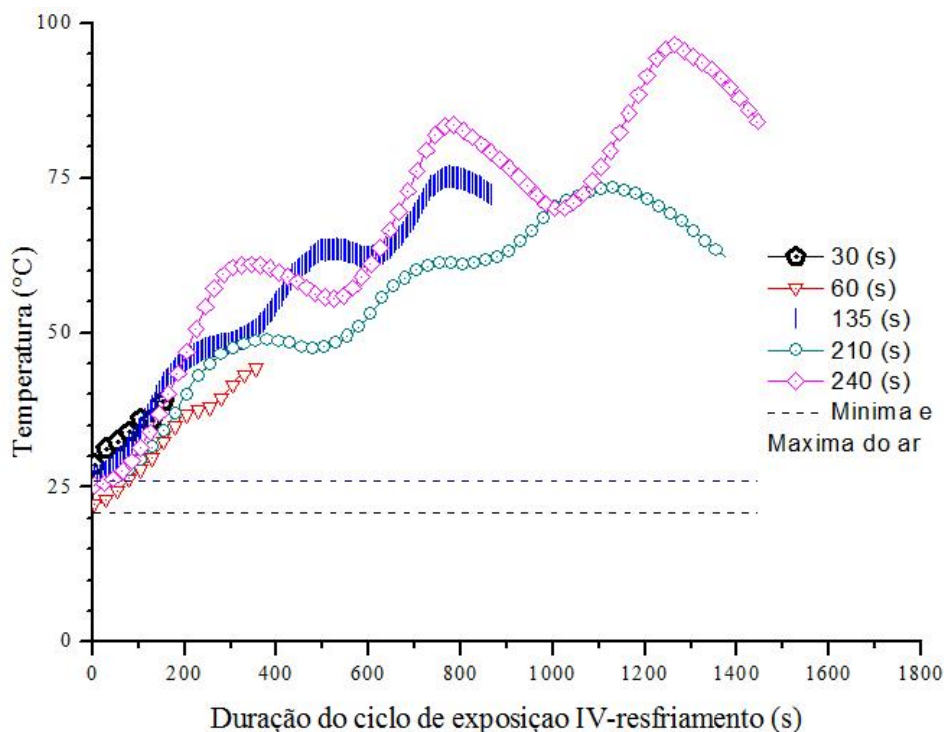
L: Linear; Q: Quadrático.

Não houve diferença estatisticamente significativa ( $p \leq 0,1$ ), indicando que combinações de pressão e vapor têm o mesmo efeito sobre a energia de deformação da amêndoa.

## 4.2 CONDICIONAMENTO COM RADIAÇÃO INFRAVERMELHA

### 4.2.1 Variação de temperatura durante aquecimento radiação infravermelha

A Figura 26 ilustra a variação média da temperatura obtida durante ensaios com exposição à radiação infravermelha.



**Figura 26.** Variação da temperatura medida no interior da amêndoa durante condicionamento utilizando radiação infravermelha.

A instrumentação com termopares mostrou-se adequada, pois foi possível diferenciar o comportamento das temperaturas entre os condicionamentos.

Nas curvas observa-se que nos menores tempos (30 e 60s) o comportamento da temperatura foi linear, e a aeração não teve o efeito de resfriamento esperado, pois não foi capaz de reduzir os valores de temperaturas no interior da castanha. Já com o aumento do tempo (135, 210 e 240s), observou-se um pequeno resfriamento, no entanto, não foi suficiente para promover menores temperaturas.

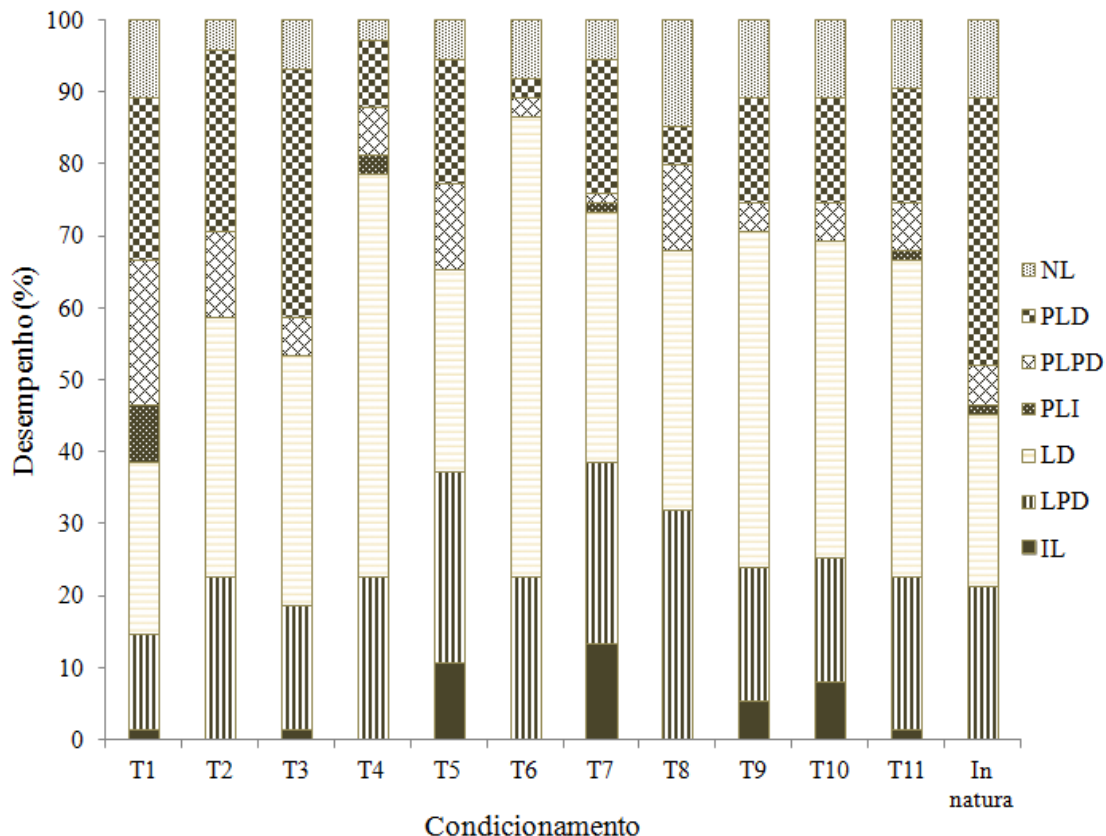
Nos tempos mais longos do condicionamento a temperatura máxima alcançada foi 100 °C, sendo inferior as encontradas para exposição ao vapor sob pressão.

#### **4.2.2 Avaliação do desempenho da decorticação**

A metodologia utilizada, para os ensaios de impacto único e direcionado, já utilizada para outros produtos, não se mostrou adequada para a castanha do Brasil, pois causou o rompimento excessivo da região de inserção do pedúnculo, danificando a amêndoa. Para resolver essa dificuldade seria necessário prover uma distribuição de tensão. Como essa solução ainda não está disponível, os pratos planos foram utilizados.

Durante os ensaios observou-se que, quanto maior a região da protrusão caulicular na casca foi mais difícil obter sua ruptura total.

Os resultados dos ensaios para obtenção do desempenho da ruptura do endocarpo utilizando alta taxa de deformação são apresentados na Figura 27.



**Figura 27.** Desempenho na decorticação através de impacto único direcionado de castanha do Brasil. A legenda consiste em: IL- *íntegra liberada*, LPD - *liberada parcialmente danificada*, LD - *liberada danificada*, PLI - *parcialmente liberada íntegra*, PLPD - *parcialmente liberada pouco danificada*, PLD - *parcialmente liberada danificada*, NL - *não liberada*, expressos em porcentagem para as combinações de condicionamento com diferentes tempos de exposição à radiação infravermelho e diferentes deformações específicas.

Em T1, após a ruptura, a amêndoa permaneceu parcialmente aderida a casca exigindo esforço mecânico adicional para sua liberação. Os danos ocorreram, em sua grande maioria, na extremidade da inserção do pedúnculo e, as amêndoas exibiram películas bem aderidas. Em T2, houve, caracteristicamente, rompimento parcial da amêndoa em uma ou ambas as extremidades. Adicionalmente, as amêndoas se apresentaram escurecidas em uma das extremidades, no entanto não foi observada uma relação entre essa parte e os danos ocorridos.

Para T3 e T4, o mesmo condicionamento de T1 e T2, porém dobrou-se a deformação específica de 5,15 para 10,86%, houve um aumento da classe LD com o maior tempo de exposição à radiação I.V. O condicionamento T3 causou menores danos nas amêndoas. O tratamento T4 resultou em castanhas e amêndoas parcialmente queimadas indicando que o

tempo de exposição foi excessivo. As amêndoas estavam danificadas nas extremidades e algumas rachadas na metade, houve liberação parcial da película. O valor da deformação, aparentemente, foi alto, pois as amêndoas apresentaram-se quebradas mais fragmentadas e não houve ocorrência da classe IL.

Para os tratamentos T5 e T6, a variação do tempo de exposição foi de 30s e 240s, respectivamente, com deformação específica de 8%. Observou-se, para os dois tratamentos, a ruptura da casca com ruptura da amêndoa na inserção do pedúnculo. As amêndoas não se apresentaram, em maioria, aderidas à casca. O tratamento T6 mostrou-se excessivo, pois as amêndoas apresentaram-se queimadas e a deformação específica aplicada causou danos nas duas extremidades da amêndoa, o que ocasionou em um aumento da classe de *amêndoas liberadas*.

Observou-se vantagem no desempenho de T5 sobre T3, T4 e T6, pois o aparecimento classe IL foi maior.

Nos demais tratamentos fixaram-se os tempos de exposição em 135s variando a deformação específica. Em T7, com deformação específica (DE) de 4%, observou-se mais de 70% de amêndoas liberadas e ainda com a maior porcentagem de amêndoas íntegras. O condicionamento resultou em fácil desprendimento entre casca e amêndoa.

Em T8 com 12% de DE, 70%, aproximadamente, das amêndoas foram liberadas, porém essa deformação resultou em múltiplos danos às amêndoas. O condicionamento não alterou a coloração da amêndoa.

Nos tratamentos T9, T10 e T11 com mesma DE e mesmo tempo de secagem, observa-se pequena diferença no desempenho apenas para a classe LPD. Essa pequena variação pode ser atribuída ao equipamento de impacto utilizado. O condicionamento alterou a cor das amêndoas e muitas foram danificadas.

#### *Análise estatística*

Para o cálculo dos efeitos, (t de student,  $p \leq 0,05$ ), e análise de variância (ANOVA) foi considerada a classe de *amêndoas liberadas* agrupando-se as categorias IL, LD e LPD.

Na Tabela 17 apresentam-se o efeito, erro padrão e p-valor para a resposta de amêndoas liberadas (IL; LD e LPD).

**Tabela 17.** Efeito estimado, erro padrão e grau de significância estatística à  $p \leq 0,05$ , para amêndoas liberadas (%).

<b>Fatores</b>	<b>Erro Estimado</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>p - valor</b>
<b>Média</b>	71,33	6,34	0,00
<b>Tempo (L)</b>	10,69	3,88	0,01
<b>Tempo (Q)</b>	-1,35	4,62	0,77
<b>DEL (L)</b>	4,45	3,88	0,27
<b>DEL (Q)</b>	-1,85	4,62	0,69
<b>Tempo x DEF</b>	0,25	5,49	0,96

Onde: DE: Deformação específica; L: modelo linear; Q: modelo quadrático.

A ANOVA (Tabela 18) foi realizada para o tempo que foi significativo linearmente. No entanto não é válida.

**Tabela 18.** Análise de variância do modelo ajustado para amêndoas liberadas.

<b>Fonte de variação</b>	<b>SQ</b>	<b>Gl</b>	<b>QM</b>	<b>F</b>	<b>Ftab</b>	<b>F/Ftab</b>	<b>p-valor</b>
<b>Regressão</b>	1828,71	1	0	3,36	4,35	0,77	
<b>Resíduos</b>	4217,29	20	210,86				
<b>F. Ajuste</b>	1829,95	7	261,42	1,42	2,83	0,50	0,08
<b>Erro Puro</b>	2387,33	13	183,64				
<b>Total</b>	6046,00	21	287,90			<b>R<sup>2</sup> = 30,25</b>	

SQ: Soma dos quadrados; Gl: Graus de liberdade; QM: Quadrado médio; F: F calculado; Ftab: F tabelado; R<sup>2</sup>: Coeficiente de correlação.

Não foram evidenciadas tendências associadas aos tratamentos e obtenção de amêndoas liberadas com o condicionamento de radiação IV, que pode ter ocorrido devido aos valores de tempo de exposição à radiação IV e ao equipamento para aplicação do impacto único direcionado.

### 4.2.3 Efeito do condicionamento com radiação infravermelha na qualidade da amêndoa

#### *Teor de água*

A umidade média e seu respectivo coeficiente de variação para os componentes de castanha, nos tratamentos de exposição à radiação IV, são apresentados na Tabela 19.

**Tabela 19.** Umidade b.u (%) em castanha do Brasil para os tratamentos de exposição à radiação IV.

Tempo (s)		Tratamentos					
		<i>In natura</i>	30	60	135	210	240
Casca	Média	18,17	16,68	15,59	13,32	9,22	8,49
	CV	0,01	0,04	0,01	0,03	0,05	0,03
Amêndoa	Média	5,13	4,49	4,39	3,79	2,80	2,83
	CV	0,07	0,11	0,06	0,06	0,23	0,01

IV: Infravermelho; CV: Coeficiente de variação.

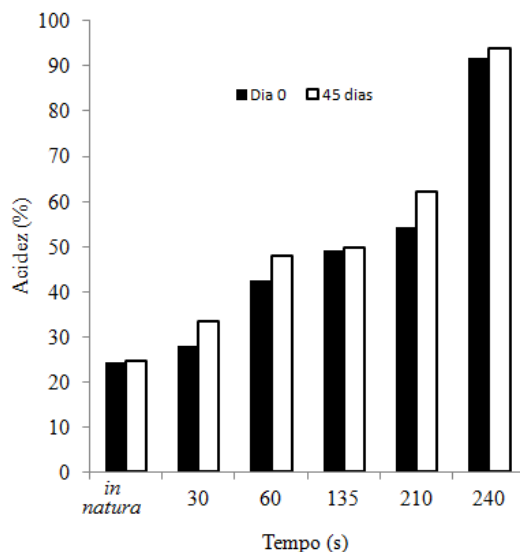
Os coeficientes de variação foram baixos, exceto para amêndoas no tempo 210s, diferentemente dos observados para o vapor.

Houve maior perda de massa com o aumento do tempo de exposição à radiação IV em relação a castanha *in natura*. Esperava-se que somente a casca fosse desidratada, no entanto, o condicionamento afetou a amêndoa, pois o tempo de resfriamento não foi suficiente para reduzir a temperatura interna a valores próximos da temperatura ambiente.

#### *Acidez*

Na Figura 28 são apresentados os valores médios de acidez em porcentagem de ácido oléico para amêndoas no dia 0 e 45 dias de armazenamento.





**Figura 28.** Valores médios de acidez em ácido oléico (%) no dia 0 e aos 45 dias de armazenamento.

Observa-se (Figura 28) que o óleo de amêndoa *in natura* já apresentou alto índice de acidez, com 4,84 mg KOH/g, não estando em conformidade com a resolução vigente para óleos brutos (4 KOH/g) (BRASIL, 2005). No entanto, utilizou-se o lote para os ensaios, pois a matéria-prima era a única disponível.

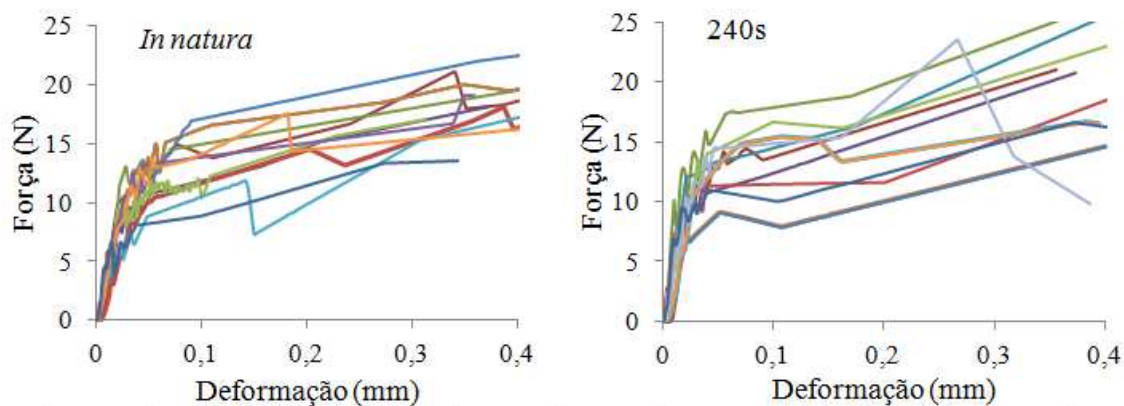
No gráfico, observa-se que no dia 0 houve aumento da acidez em todos os tempos de exposição e após 45 dias de armazenamento este aumento não foi expressivo visualmente. Esse comportamento foi similar ao óleo de castanha do Brasil armazenado por ZÁCARI (2008) ao abrigo de luz e calor durante 60 dias.

A diferença observada entre os valores de acidez nos condicionamentos pode ter ocorrido, pois a degradação dos ácidos graxos insaturados está relacionada à quantidade de duplas ligações existentes em suas moléculas, isto é, quanto maior a quantidade maior a velocidade da reação de oxidação (BLETZ e GROSCH, 1999). Esta reação ainda pode ter sido catalisada pela utilização de altas temperaturas (REDA e CARNEIRO, 2007) no condicionamento com 210 e 240s e pela enzima lipoxigenase presente na castanha do Brasil (XAVIER, 2008).

A utilização do lote adquirido na entressafra da castanha comprometeu as respostas nesta etapa da pesquisa, pois o índice de acidez não estava em conformidade com a legislação. No entanto, após 45 dias de armazenamento, observou-se pouca variação dos valores, diferentemente do que ocorreu no condicionamento com vapor.

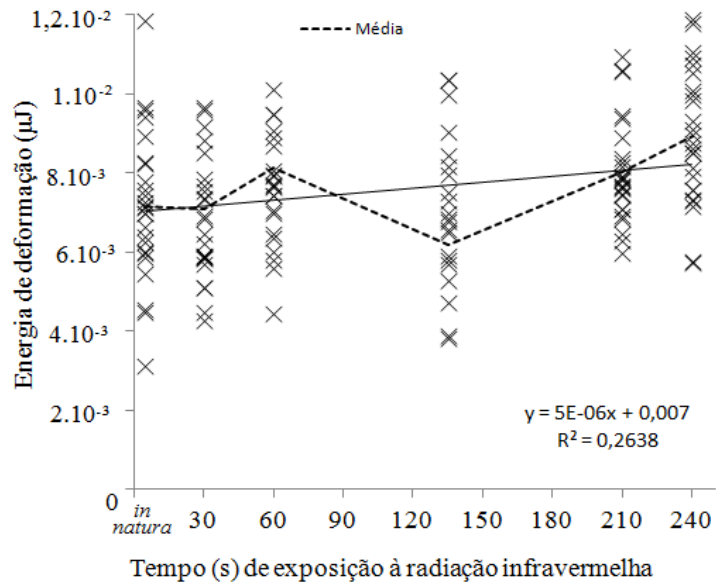
## Resistência mecânica

Na Figura 29 ilustra-se o comportamento característico das curvas, de força (N) x deformação (mm), obtidas nos ensaios de penetração das amêndoas.



**Figura 29.** Relação força x deformação obtida para amêndoas expostas à radiação IV em diferentes intervalos de tempo.

Pela inspeção visual das curvas não é possível distinguir o efeito do condicionamento com 240s de exposição à radiação das amêndoas *in natura*. Essa observação é ratificada pela distribuição dos valores de energia de deformação mostrados na Figura 30, e pelo baixo ajuste do modelo linear dado pela equação ( $R^2=26,38\%$ ) no gráfico.



**Figura 30.** Distribuição da energia de deformação, média e linearização dos dados obtidos para amêndoas submetidas à exposição de radiação IV.

Na Tabela 20 apresentam-se os valores médios com respectivos coeficientes de variação obtidos para a energia de deformação até 7% e a comparação de médias (Tukey,  $p \leq 0,05$ ).

**Tabela 20.** Valores médios da energia de deformação até 7%, coeficiente de variação e comparação de médias (Tukey,  $p \leq 0,05$ ).

Tempo (s)	Energia de deformação média					
	0	30	60	135	210	240
Energia ( $\mu\text{J} \times 10^{-03}$ )	7,16 <sup>b</sup>	7,08 <sup>b</sup>	8,12 <sup>ab</sup>	7,00 <sup>b</sup>	8,03 <sup>ab</sup>	8,93 <sup>a</sup>
CV (%)	19,27	27,47	25,85	25,40	16,42	18,99

Letras diferentes diferem estatisticamente a 95% de confiança; CV: coeficiente de variação.

Estatisticamente apenas amêndoas submetidas a 240s diferiram dos demais tratamentos, indicando que este tratamento modificou a textura da amêndoa.

Os coeficientes de variação podem ser considerados satisfatórios para materiais biológicos, com valor máximo de 27,47%, indicando que a metodologia pode ser adequada, pois permitiu discriminar o efeito da radiação IV para amêndoas do tratamento com 240s, das demais.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

---

A utilização do condicionamento com vapor é interessante do ponto de vista comercial, pois facilita a decorticação manual, além de reduzir a carga microbiana. No entanto, para sua correta utilização seria necessário o dimensionamento das autoclaves para que o excesso de temperatura e vapor não alterasse a qualidade da amêndoa ao final do processo. Este tipo de condicionamento não permite uma mecanização do processo da decorticação com deformação limitada, sem uma secagem da casca. O que aumentaria o gasto energético do processamento.

Nesta pesquisa, percebeu-se que a utilização da deformação específica limitada associada a desidratação da casca por radiação infravermelha pode ser um condicionamento adequado, pois possibilita a mecanização do processo de decorticação.

## 6. CONCLUSÕES

---

Ao utilizarmos lotes de castanhas do período da safra e entressafra, observou-se que tempo de armazenamento das castanhas alterou significativamente o índice de acidez do óleo;

A instrumentação para acompanhamento da temperatura, dentro da castanha e no vapor foi satisfatória, pois possibilitou diferenciá-las;

A determinação do teor de umidade com a utilização da metodologia da ASAE foi satisfatória para este estudo. No entanto, a diminuição da casca em fragmentos semelhantes não foi possível;

O tratamento térmico com vapor aumentou a acidez das amêndoas, principalmente após 45 dias;

O condicionamento com vapor alterou igualmente a resistência das amêndoas em todos os tratamentos;

A forma e posição de aplicação de força melhoram o desempenho da decorticação com vapor, se sua deformação não for limitada;

O condicionamento com radiação infravermelha mostrou-se promissor, pois promoveu desidratação da casca, no entanto, afetou a amêndoa;

O efeito da aeração no resfriamento da amêndoa só foi visualizado nos maiores tempos dos condicionamentos, mesmo assim não foi suficiente para manter a temperatura das amêndoas próximas a temperatura ambiente;

Para os condicionamentos com radiação IV o índice de acidez não sofreu grandes alterações após 45 dias;

A resistência mecânica das amêndoas, submetidas ao condicionamento com radiação IV, só foi diferenciada no maior tempo de exposição à radiação.

## 7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

---

Neste trabalho verificou-se a ausência de pesquisas voltadas para o beneficiamento de castanha do Brasil, visando a qualidade e o melhor desempenho dos processos envolvidos na obtenção de amêndoas e do óleo. Neste sentido sugere-se para pesquisas futuras:

Avaliações qualitativas da castanha do Brasil comercializadas na safra e na entressafra;

Estudo da classificação de castanha do Brasil;

Levantamento da capacidade produzida com a quebra manual;

Estudo do gasto energético dos secadores utilizados na secagem da amêndoa;

Métodos alternativos para a determinação de propriedades físicas de castanha do Brasil, necessários para projetos de máquinas;

Método para obtenção de corpos de prova para ensaios de resistência mecânica;

A secagem com radiação IV merece estudos posteriores com tempos menores de exposição à radiação e maiores de aeração;

Equipamento para aplicação de impacto único e direcionado, que consiga distribuir a tensão de forma equilibrada na base de castanha do Brasil.

## 8. REFERÊNCIAS

---

- AFONSO JUNIOR, P. C, **Aspectos físicos, fisiológicos e de qualidade do café em função da secagem e do armazenamento**. Tese de Doutorado. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 2001. 400p.
- AHN, J., et al. Inactivation kinetics of selected aerobic and anaerobic bacterial spores by pressure-assisted thermal processing. **International Journal of Food Microbiology**, V.113, n.13. p.321-329. Dez. 2007.
- ALMEIDA, C. P. de. Castanha do Pará: sua exportação e importância na economia amazônica. **Estudos Brasileiros** n. 19. Rio de Janeiro: Serviço de Informação Agrícola, 1963. 86p.
- ARANA, I. **Textural Properties of Foods**. IN: Physical Properties of Foods Novel Measurement Techniques and Applications. CRC Press. 2012
- ARAÚJO, M. C. DE ; FERRAZ, A. C. O. Efeito da umidificação, tratamento térmico e deformação sobre a decorticação da castanha de caju 'ccp 76' por meio de impacto único e direcionado. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.26, n.2, p.590-599, maio/ago. 2006. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v26n2/29.pdf>> Acesso em: 02 de junho de 2010.
- ARAÚJO, M. C. de; e FERRAZ, A. C. O. Características físicas e mecânicas do endocarpo e da amêndoa da castanha de caju 'CCP 76' antes e após tratamento térmico. **Engenharia Agrícola**, v. 28, p. 396-613, 2008.
- ARAUJO, Máx Cesar; **Caracterização mecânica da castanha de caju (*Anacardium occidentale* L.) para fins de beneficiamento e desenvolvimento de decortificador de cilindros rotativo**. 180p. Tese. (Doutorado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2005.
- ASAE S410.1 – Dec 1992. Moisture Measurement – Peanut: In: **American Society Of Agricultural Engineers**. ASAE Standards 1994. 41th ed., St. Joseph; 1994, p. 477-8.
- BALASUBRAMANIAN, D. Physical properties of raw cashew nut. **J. Agric. Eng. Res.** v. 78, n. 3. U.K. Mar. 2001. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/journal/00218634>>. Acesso: 21/02/11.
- BARROS, B. N.; et al. **Planejamento e otimização de experimentos**. 2 ed. Campinas. Ed. Unicamp, 1996, 299p.
- BARROSO, G. M. **Frutos e sementes: morfologia aplicada à sistemática de dicotiledôneas**. Viçosa: Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa. 1999, 443p.
- BASTOS, Adriano Chaves. **Respostas dos grãos de mamona 'AL Guarany 2002' ao tratamento térmico visando ruptura e remoção do tegumento**. 91p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2011.
- BERGER, K. G.; HAMILTON, R. J.. **Developments in oils and fats**. IN: Lipids and oxygen is rancidity avoidable in practice? Chapman & Hall. London,1995.
- BORGES, A.; PELEG M. Effect of water activity on the mechanical properties of selected legumes and nuts. **Journal Science Food Agricultural**. v.75, p.463-71. New York, 1997.
- BOURNE, M. C. **Relationship Between Rheology And Food Texture: Engineering and Food for the 21st Century**. Ed. CRC Press. Danvers. 2002.
- BRASIL, Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Decreto nº51.209 de 18 de 08 de 1961**. Aprova especificações para padronização, classificação e fiscalização da exportação

- da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), Publicado no Diário Oficial da União, 18 agost. 1961.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. **Decreto nº 6268 de 22 de 11 de 2007**. Regulamenta especificações para classificação de produtos, sub-produtos e resíduos de origem vegetal. Diário Oficial da União, 22 de Nov. de 2007.
- BRASIL, Ministério da Agricultura. **Portaria nº846 de 08 de 11 de 1976**. Aprova especificações para padronização, classificação e comercialização interna da Castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), Publicado no Diário Oficial da União, 19 nov. 1976, s.1, p. 15231. Brasil, 1976.
- BRLITZ, H.D.; GROSCH, W. **Food chemistry**. 2th.ed.Springer. Berlim, 1999.
- CAMARGO, I. P. de ;CASTRO, e. M. de ; GAVILANES, M. L. Aspectos da anatomia e morfologia de amêndoas e plântulas de castanheira-do-brasil. **Cerne**, v.6, n.2, p.011-018, lavras, 2000.
- CAMARGO, I. P. de, CARVALHO, M. L. M. Comparação de métodos para determinação do grau de umidade em sementes de castanheira-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb. & Bompl.). **Ciência e Agrotecnologia**. v. 21, n. 1, p. 5-8, jan./mar. Lavras, 1997.
- CARDARELLI, H.R; OLIVEIRA, A.J. Conservação do leite de castanha-do-pará **Scientia Agricola**, v. 57, n. 4, p. 617-622, out./dez. 2000.
- CASTANHA** do Brasil: levantamento preliminar. Belém: DEMA/FAEPA, 1976. 69P.
- CASTRILLÓN, A. L. e PUCHIO A.. Ocorrência de aflatoxinas em castanhas do Pará (*Bertholletia excelsa*, HUMB. & BONPL., 1080), **Acta Amazonica**. v. 18, n. 1-2, p. 49-56. 1988.
- CEAGESP. **Serviço de Classificação Vegetal da CEAGESP**. Disponível em: <http://www.ceagesp.gov.br/armazenagem/servicos/>. Acesso em out. 2010.
- CHUNHIENG, T.; et al. Study of Distribution in the Protein Fractions of the Brazil Nut, *Bertholletia excelsa*. **J. Agric. Food Chem.**, Phnom Penh, v. 52, n. 13, p. 4318-4322, jun. 2004.
- COLLA, E. **Seleção de leveduras produtoras de trealose e otimização da produção utilizando estratégias sequenciais de planejamento experimental**. Tese de Doutorado. Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2008.
- COSTA, et al. Fungos associados à castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* Humb.& Bompl) e ao amendoim (*Arachis hypogaea* L.) comercializados em Fortaleza-CE. **Rev. Ciênc. Agron.**, Fortaleza, v. 40, n. 3, p. 455-460, jul-set, 2009.
- D'AVILA, R. F. et al. Rendimento de extração e parâmetros de qualidade de óleo de castanha do Brasil extraído por prensagem e por solvente IN: Encontro de pós-graduação, 13º, 2011, Pelotas. **ANAIS XIII ENPOS...** Disponível em: <[http://www.ufpel.edu.br/enpos/2011/anais/pdf/CA/CA\\_00521.pdf](http://www.ufpel.edu.br/enpos/2011/anais/pdf/CA/CA_00521.pdf)>. Acesso em Jan. 2012.
- DAVID, D . J.; MISRA A. : Relating Materials Properties to Structure with MATPROP Software: Handbook and Software for Polymer Calculations and Materials Properties. IN: **Viscoelasticity and Mechanical Properties**. Ed. CRC Press. p.427-475, 2001.
- DE MELLO, F. R. **Avaliação da qualidade da castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa* H.B.K.), sua relação com o processo de seleção e contaminação por aflatoxinas** . Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2007.



- EITENMILLER, RONALD R.; LEE, JUNSOO. Vitamin E: food chemistry, composition, and analysis. New York: Marcel Dekker, **Food science and technology**; v. 137. . 530p., il. 2004.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Agência de informação. **Árvore do conhecimento: castanha do Brasil**. Disponível em :<<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/castanha-do-brasil/Abertura.html>>. Acesso em 20 mai 2010.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Inovações tecnológicas para o controle da contaminação da castanha-do-brasil por aflatoxinas. **Projeto, PAC – Encomenda - Embrapas**. 2009.
- EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Princípios da Secagem de alimentos. **Comunicado Técnico**. Planaltina. Janeiro, 2010.
- FELLOWS, P.J. **Tecnologia de alimentos: Princípios e Práticas**. 2 ed. Artmed, Porto Alegre. 2006.
- FERRAZ, A. C. O. et al. Propriedades físicas e mecânicas para decorticação da castanha-do-Brasil. In: **V Congresso Iberoamericano de Tecnologia Postcosecha y Agroexportaciones**, 2007, Cartagena - Espanha. **Anais.V Congresso ...**, 2007. p. 818-825.
- FERRAZ, A. C. O.; et al. Projeto e desenvolvimento de um sistema processador para quebra de frutos de Teca com liberação de sementes. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal - SP, v. 18, n. 1, p. 52-58, 1997.
- FERREIRA, E. S. et al . Caracterização físico-química da amêndoa, torta e composição dos ácidos graxos Majoritários do óleo bruto da castanha-do-brasil (*bertholletia excelsa* h.b.k). **Alimentos e Nutrição**, Araraquara V.17, n.2, p.203-208, abr./jun. 2006.
- FREITAS, S. P. et al. **Extração e fracionamento simultâneo do óleo da castanha-do-Brasil com etanol**. Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro - RJ, 2007
- GAZZOLA, R.; SIMON, M. F. Proposta de Classificação de Frutas para Dados de Comércio Internacional no Brasil. **Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.** n. 47 p. 80-83. Out. 2003.
- GERE, J. M. **Mecânica dos materiais**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003. 698 p., il.
- GRIZOTTO, R. K.; et al. Otimização via metodologia de superfície de respostas dos parâmetros tecnológicos para produção de fruta estruturada e desidratada a partir de polpa concentrada de mamão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 158-164, 2005. Disponível em <[www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=0101-2061&lng=pt&nrm=isso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=0101-2061&lng=pt&nrm=isso)>. Acesso em 20 fev. 2011.
- GUTIERREZ, E.M.R.; et al. Estabilidade oxidativa de óleo bruto da castanha-do-pará (*Bertholletia excelsa*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 1, p. 22-27, Campinas 1997.
- HAMA, F. et al., Changes in micro and macronutrient composition of pearl millet and white sorghum during in field versus laboratory decortications. **Journal of Cereal Science**. Manhattan. Vol.54, n.3, p. 425-433. Nov. 2011.
- HECKE M. B. Critérios de fratura aplicados a biomateriais e estruturas orgânicas mineralizadas. **XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Biomedica**. 2008. Bahia. Anais \_\_\_\_\_. 2008.

- HOMMA, A. K.; MENZES, A. J. E. A. Avaliação de uma indústria beneficiadora de Castanha-do-Pará, na microrregião de Cametá, PA. **Comunicado técnico Embrapa CPATU**. n. 213, Belém, Setembro de 2008.
- HOUAISS, A. VILLAR, M. de S.; FRANCO, F. M. de. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Versão eletrônica. 2003.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. Métodos químicos e físicos para Análise de Alimentos. IN: **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Ed. Eletrônica. São Paulo, 2005.
- LATORRE, M. E. Microwave inactivation of red beet (*Beta vulgaris* L. var. conditiva) peroxidase and polyphenoloxidase and the effect of radiation on vegetable tissue quality. **Journal of Food Engineering**. Davis. Vol.109, n.4, p.676-684. April 2012.
- LOCATELLI, M.; et al. **Cultivo da Castanha-do-Brasil em Rondônia**. Embrapa Rondônia. Versão eletrônica. Jun./2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Castanha/CultivodaCastanhadoBrasilRO/index.htm>> Sistema de produção, 7. acesso em: 17/03/10.
- LOUREIRO, A. A.; et al.. **Essências madeireiras da Amazônia**. INPA/SUFRAMA, Vol. I. Manaus, 1979.
- LOUREIRO, A. A.; SILVA, M. F. **Catálogo das madeiras da Amazônia**. Belém: SUDAM. v. 1, p. 238-239. 1968.
- LUZ, M. L. Medidores de umidade. **Revs. SEED News**. Vol. 6, n. 1. Jan./Fev. 2002. Disponível em <<http://www.seednews.inf.br/portugues/seed61/artigocapa61.shtml>>. Acesso em agost 2010.
- MACHINER, R.; MACHINER, F.. Características Botânicas de *Bertholletia excelsa* Bonpl.. In: **III Simpósio Matogrossense da Amazônia Meridional em Ciências Ambientais (SIMAMCA)**. Anais\_\_\_\_, 2008.
- MARTINS, Bruno Andrade. **Desenvolvimento tecnológico para o aprimoramento do processamento de polpa e amêndoa do baru (*Dipteryx alata* Vog.)**. 208p. Tese (Doutorado em engenharia de alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP. 2010.
- MARTINS, Lilliane.; **Produção e Comercialização da Castanha-do-Brasil no estado do Acre 1998-2006**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2008.
- MENDES, A.; MORAES, G.L.; SENA, L.S. Aproveitamento de casca e ouriço de castanha-do-brasil como adubo orgânico. IV ENTEQUI, 47º CBQ. **ANAIS**\_\_\_. Rio Grande do Norte. Disponível em: <<http://www.abq.org.br/cbq/2007/trabalhos/7/7-747-490.htm>>. Acesso em 02 de fev. de 2012.
- MENEZES, T. B. J.; Castanha do Pará na Indústria de Alimentos e Bebidas. **Boletim do Centro Tropical de Pesquisas e Tecnologia de Alimentos**. v. 04, n. 05, p. 42-43, 1968.
- MIDORIKAWA, G. E. O. **Desenvolvimento de um método PCR específico para detecção de *aspergillus flavus* aflatoxigênico em grãos brasileiros**. Dissertação. Universidade Católica de Brasília. Brasília, 2009.
- MOHSEIN, N. N.; **Physical properties of plant and animal materials**. New York: Gordon and Breach Publishers, 1986. 841p.
- MOODLEY, R.; et al. Elemental composition and chemical characteristics of five edible nuts (almond, Brazil, pecan, macadamia and walnut) consumed in Southern Africa. **J. of Env. Sci. and Health**, v.42, p.585-591. 2007.

- MORETTO, E.; FETT, R.. **Tecnologia de óleos e gorduras vegetais na indústria de alimentos**. São Paulo: Varela Editora e Livraria Ltda, 1998.
- MORI, S. A.; PRANCE, G. T. Taxonomy, ecology and economic botany of the Brazil nut (*Bertholletia excelsa*, Humb & Bonpl: Lecythidaceae). In: PRANCE, G. T.; BALICK, M. J. (Eds.). **New directions in the study of plants and people: research contributions from the Institute of Economic Botany**. New York: The New York Botanical Garden, 1990. v.8, p.130-150.
- MULLER, C. H.; et al.. **Castanha-do-Brasil: resultados de pesquisa**. Embrapa/Cpatu, p. 1-25. (Miscelânea, 2). Belém, 1980.
- MÜLLER, C.H., et al. **A cultura da castanha-do-brasil**. Brasília: Embrapa-SPI, 65p, 1995.
- NORTON, R. L.; **Projeto de maquinas: uma abordagem integrada**. 2 ed Laser House. São Paulo. 2008.
- OEY, I., et al. Does high pressure processing influence nutritional aspects of plant based food systems? **Trends in Food Science & Technology**. Wageningen. V. 19, n.6 .p.300- 308. Jun. 2008.
- OMS-OLIU, G. et al.. Stability of health related compounds in plant foods through the application of non thermal processes. **Trends in Food Science & Technology**. Wageningen. v.23, n.2, p. 111-123. Fev. 2012.
- PACHECO, A. Comunicação pessoal. 2006 IN: PACHECO, A. M.; SCUSSEL, M. V. **Castanha-do-Brasil: da floresta tropical ao consumidor**. Florianópolis, SC. Editograf, 2006.
- PARK, K. J.; BIN, A.; BROD, F. P. R.. Obtenção das isotermas de sorção e modelagem matemática para a pêra bartlett (*pyrus sp.*) com e sem desidratação osmótica. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21 n., p. 73-77, jan.-abr. 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cta/v21n1/5368.pdf>> . Acesso em 08 jun 2010.
- PARKER, M.L.; WALDRON, K.W. Texture of Chinese water chestnut: Involvement of cell wall phenolics. **J. Sci. Food Agr.** V,68, n,3. p.337-346. Jul. 1995.
- PENEDO, P. L. M., COELHO, G. L. V. Purificação de óleos vegetais por extração com CO<sub>2</sub> supercrítico. **Ciênc. Tecnol. Alimentos**. Campinas, vol. 17 n. 4 Dez. 1997. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20611997000400007>>. Acesso Fev.2012.
- PENNACCHIO, H. L. Castanha do Brasil preço mínimo. **Companhia Nacional de Abastecimento- CONAB**. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/cas/semanais/semana24a28042006/conj24\\_a\\_28042006\\_castanha\\_d\\_o\\_brasil.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/cas/semanais/semana24a28042006/conj24_a_28042006_castanha_d_o_brasil.pdf)>. Acesso em: 12 Abr. 2012.
- PESCE, C.; **Oleaginosas da Amazônia**. 2ed. Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, nov. 2009.
- PINHEIRO, Maria dos Reis Rodrigues. **Estudo da variabilidade genética de *Aspergillus flavus* como base para o desenvolvimento de PCR multiplex para detecção de fungos produtores de aflatoxinas em Castanha do Brasil e castanha de caju**. 149p. Dissertação. (Mestrado em ciências genômicas e biotecnologia). Universidade Católica de Brasília. Brasília. Brasília, 2004.
- PLANCKEN, I. V. D. et al.. Impact evaluation of high pressure treatment on foods: considerations on the development of pressure temperature time integrators (pTTIs). **Trends in Food Science & Technology**. Wageningen. v.19, n.6, p. 337-348. Jun. 2008.

- RASTOGI N. K. et al., Effect of pretreatments on carrot texture after thermal and pressure-assisted thermal processing. **Journal of Food Engineering**. Davis. Vol. 88, n. 4, p.541-547. Oct. 2008.
- RATTI, C. Shrinkage during drying of foodstuffs. **Journal of Food Engineering**, London, v.23, n.1, p.91-105, 1994.
- RATTI, C.; MUJUMDAR, A.S. Infrared drying, In: **Handbook of Industrial Drying**, 2<sup>a</sup> Edition, New York, p. 567–588, 1995.
- REDA, S.Y; CARNEIRO, P.I.B. Artigo: óleos e gorduras: aplicações e implicações; **Revista Analytica**, n 27, Fevereiro/Marco 2007.
- RIBEIRO, M. A. A. et al. Armazenamento de castanha do Pará com e sem casca: efeito da temperatura na resistência ao ranço. **Sci Agríc**. Piracicaba vol. 50, n.3, p.343-348, Out/Dez, 1993.
- RIBEIRO, V. S. et al. Propriedades físicas de produtos agrícolas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.1-6, 2002. Disponível em: <<http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev41/Art411.pdf> >. Acesso em: 20 Agos. 2010.
- RODRIGUES, A.L.G. Utilização de indentes cônicos associados ao impacto para quebra da noz macadâmia. **Dissertação**. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.
- RODRIGUES, M. I., IEMMA, A. F. **Planejamento de experimentos e otimização de processos**. 2 ed., Ed. Cárita. 325p., 2009
- ROGEZ, H. Primeiro Seminário do Projeto “Estudo pluridisciplinar sobre a valorização de frutas Amazônicas e de seus derivados”, **VII Castanha do Pará**, Belém, Janeiro, 1995.
- SALOMÃO, R. P.; Castanheira-do-brasil recuperando áreas degradadas e provendo alimento e renda para comunidades da Amazônia Setentrional. **Bol. Mus. Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 2, p. 65-78, maio-ago. 2006. Disponível em: <[http://www.museu-goeldi.br/editora/bn/artigos/cnv1n2\\_2006/castanheira%28salomao%29.pdf](http://www.museu-goeldi.br/editora/bn/artigos/cnv1n2_2006/castanheira%28salomao%29.pdf)>. Acesso em: Jul. 2010.
- SALOMÃO, R. P.; Estrutura e densidade de *Bertholletia excelsa* H. & B. (“Castanheira”) nas regiões de Carajás e Marabá, Estado do Pará. **Bol. Mus. Paraense Emílio Goeldi, sér Bot.**, Belém, v. 7, n.1, p. 47-68. 1991.
- SALOMÃO, R. P.; MATOS, A. H.; ROSA, N. A. 2002. Dinâmica de reflorestamentos visando a restauração da paisagem florestal em áreas de mineração na Amazônia. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, sér. Bot.**, v. 18, n.1, p. 157-194. Belém, 2002.
- SANDU, C. Infrared radiative drying in food engineering: A process analysis. **Biotechnol. Progress**. v. 2, n. 3, p. 109-119. Set., 1986.
- SANTOS, J. U. M.; et al. *Bertholletia excelsa* Humboldt & Bonpland (Lecythidaceae): aspectos morfológicos do fruto, da semente e da plântula. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, Ciências Naturais**, Belém, v. 1, n. 2, p. 103-112, maio-ago. 2006.
- SAS. versão 9.2. Cary, North Carolina: SAS Institute, 2002-2009. Software and User’s guide.
- SECEX, Secretaria de Comércio Exterior – **Sistema de Análise das informações de comércio exterior**, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. 2007. Disponível em: <<http://aliceweb2.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 30/04/2012.
- SILVA, F.A.; e MARSAIOLI JR., A. Aspecto econômico de um processo de secagem de amêndoas de castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) assistida a microondas. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, vol. 5, no 2, Jul/Dez 2003.

- SILVA, R. F.; et al. Influência do processo de beneficiamento na qualidade de amêndoas de castanha-do-brasil. **Ciênc. agrotec.** Lavras, v. 34, n. 2, p. 445-450, mar./abr., 2010.
- SIMÕES, Aguiamar Vasconcelos. **Impactos de tecnologias alternativas e do manejo da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*, HUMB. & BONPL., 1808) no controle da contaminação por aflatoxinas em sua cadeia produtiva.** 62p. Dissertação. (Mestrado em ciências agrárias) Programa de pós-graduação em ciências agrárias. Universidade Federal do Amazonas. Manaus, 2004.
- SMITH, A. C. et al. Vegetable Texture: Measurement and Structural Implications. In: **Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables: 2<sup>a</sup> Ed.** CRC Press, N. York, 2002.
- SOUZA, E. B.; **Análise do processo de secagem da castanha do Brasil (*Bertholletia excelsa*) em secador de bandejas utilizando planejamento estatístico de experimentos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Pará. Belém, 1999.
- SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Processamento de amêndoa e torta de castanha-do-brasil e farinha de mandioca: parâmetros de qualidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 120-128, 2004.
- SOUZA, Maria Luzenira. **Processamento de cereais matinais extrusados de castanha-do-brasil com mandioca.** 189p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. 2003.
- SOUZA, Maria Luzenira. **Estudos de processos tecnológicos para a obtenção de produtos derivados de castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*, H.B.K.).** 139p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1984.
- SOUZA, P.F.; Tecnologia de Produtos Florestais; **Imprensa Nacional**; Rio de Janeiro, p 206, Rio de Janeiro, 1945.
- TILLMANN, Maria Ângela A.. **Comparação entre métodos da estufa e de Karl Fisher na determinação do grau de umidade em sementes de milho e soja.** 104p. Tese (Doutorado em ciência e tecnologia de alimentos). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1993.
- TONINI, H.; COSTA, P. DA; KAMINSKI, P. E. Estrutura e produção de duas populações nativas de castanheira-do-brasil (*Bertholletia excelsa* O. Berg) em Roraima. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 38, n. 3, jul./set. 2008
- UZOGARA, S. G. et al. Effect of water hardness on cooking characteristics of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) seeds. **Int J Food Sci Technol.** vol. 27, n.1, p.49–55, 1992.
- WALDRON, K.W., et al. New approaches to understanding and controlling the effects of cell separation on fruit and vegetable texture. **Trends in Food Science & Technology.** Wageningen. V.8, n,7 .p.213–221. Jul. 1997
- XAVIER, E. M. P.; FERREIRA, F. N. **Determinação de lipoxigenase da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*).** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Tecnologia Agroindustrial – Alimento). Universidade Estadual do Pará. Belém, 2008.
- ZACARI, C. Z. **Estabilidade oxidativa de óleo extra virgem de castanha do Pará com ervas aromáticas antioxidantes.** 111p. Dissertação. (Mestrado em ciência e tecnologia de alimentos). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2008.

## 9. APÊNDICES

---

### ENSAIOS PRELIMINARES

#### Ensaio preliminares com vapor

O condicionamento aplicado na indústria de beneficiamento de Castanha do Brasil é sigiloso e não há relatos em literatura dos parâmetros intervalo de tempo de exposição ao vapor e pressão. Como não foi possível realizar a avaliação do desempenho na indústria como proposto inicialmente, buscou-se reproduzir em laboratório, aproximadamente, o processo realizado nas indústrias. De acordo com informações obtidas comercialmente na indústria CAIBA, a pressão varia entre 482 a 551 kPa, com aplicação de 3 ou 4 jatos de vapor sobre as castanhas. Com estas informações os experimentos foram planejados, para familiarização do efeito desse tipo de condicionamento na resistência da amêndoa e qualidade do óleo.

#### *Castanha do Brasil*

As castanhas, adquiridas frescas e, portanto ainda úmidas, em feira-livre na cidade de Castanhal-PA, foram secas parcialmente sob sol por 4 h e transportadas via terrestre até Campinas-SP.

#### *Caracterização*

##### *Classificação e seleção:*

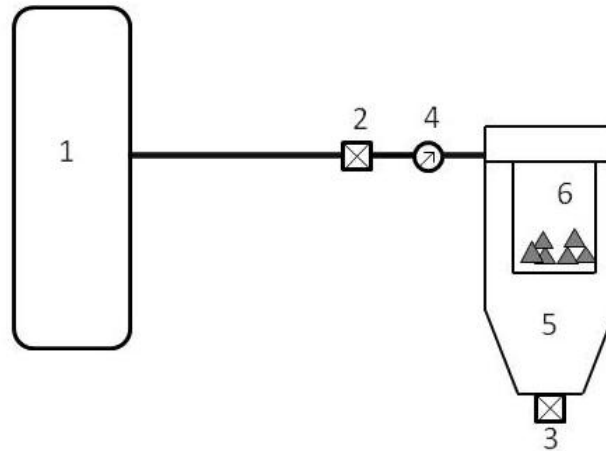
Realizou-se a classificação visualmente, para a utilização de castanhas com tamanhos próximos e íntegras.

##### *Umidade:*

A umidade foi determinada para castanha e amêndoa, antes e após os tratamentos térmicos, segundo determinações da norma ASAE S410.1 (1992). A temperatura utilizada foi  $100 \pm 3^{\circ}\text{C}$  por 72 h, onde cerca de 200g de castanhas previamente selecionadas, foram quebradas e separadas em cascas e amêndoas e novamente pesadas. Os resultados estão expressos em porcentagens da massa inicial.

### Ensaio

Os ensaios foram realizados nas instalações do Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos na UNICAMP. O controle do vapor foi realizado manualmente, utilizando-se de uma válvula e manômetro instalado na entrada de um vaso de vapor (Figura 30), com volume de 0,02 m<sup>3</sup>, disponível na FEA/UNICAMP.



**Figura 31.** Representação esquemática do aparato experimental utilizado nos ensaios preliminares com vapor: 1. caldeira; 2. válvula de controle da entrada do vapor; 3. válvula de saída do vapor e expurgo; 4. manômetro; 5. vaso de pressão; 6. cesto para disposição das castanhas.

Amostras de castanhas foram selecionadas com aproximadamente 40 espécimes cada e então submetidas a combinações de tempo de exposição ao vapor (10 à 30 s) e pressão (101,3 à 303,9 kPa), com três aplicações de jatos de vapor em cada tratamento. O experimento foi conduzido em Delineamento Inteiramente Casualizado e as comparações de médias utilizando o Teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) com auxílio do software SAS® versão 8.

Na Tabela 21 são mostradas as combinações dos intervalos de tempo de exposição ao vapor com os vários níveis de pressão resultando em 18 tratamentos. O tratamento 0 (zero) corresponde ao testemunha consistindo da castanha *in natura* (seca ao sol).

**Tabela 21.** Combinações dos condicionamentos aplicados com vapor e pressão.

Tratamento	Tempo de exposição (s)	Pressão (kPa)
0 ( <i>in natura</i> )	-	-
1	10	
2	20	
3	30	
4	50	101,3
5	70	
6	90	
7	10	
8	20	
9	30	
10	50	202,65
11	70	
12	90	
13	10	
14	20	
15	30	
16	50	303,9
17	70	
18	90	

Após a aplicação dos tratamentos as castanhas foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes de polietileno com 0,2 mc de espessura, acondicionadas em caixa isolada termicamente e transportadas até o Laboratório de Propriedades Mecânicas da FEAGRI.

#### *Resistência mecânica da amêndoa*

As castanhas foram descascadas de forma cuidadosa para obter amêndoas íntegras, isto é, sem danos físicos. Os ensaios foram realizados com as amêndoas em equilíbrio com a temperatura ambiente. Cada amêndoa foi colocada na posição de repouso sobre o prato plano da máquina universal de ensaios (Lloyd Instruments<sup>®</sup>, TA 500 TEXTURE ANALYSER) e recebeu compressão com ponteira cilíndrica de 2mm de diâmetro. A taxa de deformação foi 0,6mm/s até atingir 40% da espessura da castanha no ponto de contato. Para cada tratamento foram utilizadas 30 amêndoas. A resistência mecânica da amêndoa foi avaliada na energia de deformação calculada a partir da curva força (N) *versus* deslocamento (mm). As curvas foram



inspeccionadas visando estabelecer um intervalo único para todas as curvas, para o cálculo da energia.

#### *Extração do óleo*

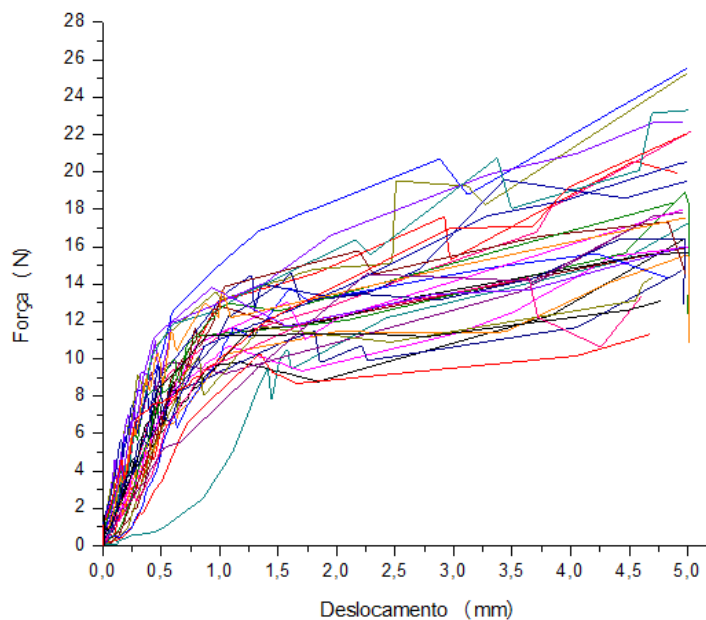
O óleo foi extraído das amêndoas, para cada um dos tratamentos, utilizando-se de prensa hidráulica e armazenado em frascos de polietileno ao abrigo de luz em condições ambientes por 24h para análise do índice de ácidos graxos livres.

#### *Ácidos graxos livres*

O método utilizado foi do Instituto Adolfo Lutz 325/IV (LUTZ, 2005), e a acidez foi calculada em ácido oléico.

### **Resultados para avaliações dos ensaios com vapor**

Em um primeiro momento, foram realizados ensaios com as faixas de tempo: 10, 20 e 30 s, os resultados foram avaliados pela integração das curvas de Força (N) x Deslocamento (mm) até 0,3 mm da curva (Figura 18) onde obteve-se altos coeficientes de variação com diferença estática (Tukey  $p \leq 0,05$ ) apenas para a amostra *in natura* (Tabela 22). Curvas, de Força (N) x Deslocamento (mm), obtidas para o Tratamento 9 podem ser visualizadas na Figura 32.



**Figura 32.** Curvas Força (N) x Deslocamento (mm) correspondentes ao tratamento 9.

Os resultados obtidos para a energia de deformação são apresentados na Tabela 22.

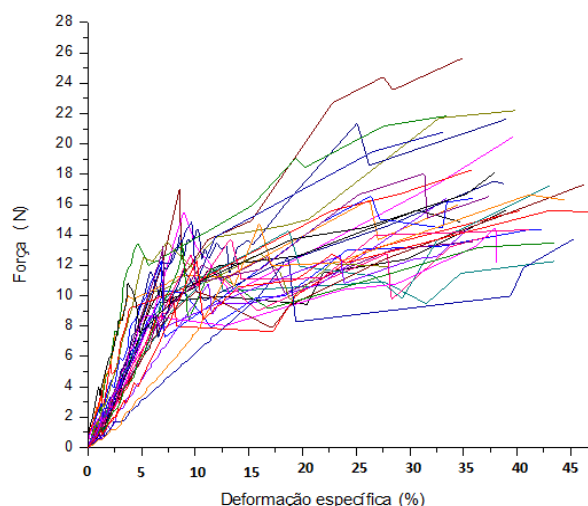
**Tabela 22.** Valores médios de energia de deformação, obtidos a partir da integração até 0,3 mm de deformação das curvas linearizadas e coeficiente de variação (%), nos tratamentos com 10, 20 e 30 s.

Tratamento	Pressão(kPa)	Tempo(s)	Energia média (mJ)	C.V. (%)
0	-	-	1,31 <sup>a</sup>	34,42
1		10	1,06 <sup>ab</sup>	37,24
2	101,3	20	0,84 <sup>bc</sup>	22,17
3		30	0,77 <sup>cd</sup>	20,55
7		10	0,84 <sup>bc</sup>	29,03
8	202,65	20	0,73 <sup>cd</sup>	28,21
9		30	0,75 <sup>cd</sup>	37,93
13		10	0,54 <sup>d</sup>	56,88
14	203,9	20	0,68 <sup>cd</sup>	38,12
15		30	0,32 <sup>cd</sup>	28,05

Letras subscritas diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre as médias (Tukey,  $p \leq 0,05$ ).

Diante destes resultados, foram realizados novos ensaios aumentando a faixa do tempo para 50, 70 e 90 s, e mantendo a pressão, as curvas de Força (N) x Deformação específica (%) foram integradas e avaliadas no limite de 15 % de deformação específica. Na

Figura 33 observa-se curvas Força (N) x Deformação específica (%) correspondentes ao tratamento 4.



**Figura 33.** Curvas Força (N) x Deformação específica (%) correspondentes ao tratamento 4.

Observam-se, na Tabela 23, os valores médios de energia de deformação e coeficientes de variação para os tratamentos com 50, 70 e 90 s.

**Tabela 23.** Valores médios de energia obtidos a partir da integração até 15% de deformação específica, com respectivos desvio padrão, coeficiente de variação e teste de Tukey  $p < 0,05$  para esses valores .

Tratamento	Pressão(kPa)	Tempo(s)	Energia média (mJ)	C.V. (%)
0	-	-	21,54 <sup>a</sup>	23,12
4		50	14,63 <sup>b</sup>	29,30
5	101,3	70	14,47 <sup>b</sup>	24,61
6		90	13,04 <sup>bc</sup>	21,41
10		50	10,97 <sup>c</sup>	27,95
11	202,65	70	11,78 <sup>bc</sup>	34,17
12		90	11,09 <sup>c</sup>	33,47
16		50	11,84 <sup>bc</sup>	36,94
17	303,9	70	11,13 <sup>c</sup>	29,92
18		90	11,81 <sup>bc</sup>	30,00

Letras subscritas diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre as médias (Tukey,  $p \leq 0,05$ ).

Não ocorreram coeficientes superiores a 50 % e os tratamentos 4, 5, 6, 10, 11, 12, 16, 17 e 18 foram estatisticamente diferentes do tratamento 0 (*in natura*).

Utilizando-se dos resultados obtidos através dos dois procedimentos de análise (Tabelas 22 e 23) verifica-se que apenas o tratamento 1 (10s e 101,3 kPa), não gerou mudanças na textura da amêndoa, todos os demais causaram alteração. No entanto os coeficientes de variação ainda foram altos.

*Índice de Acidez de amêndoas submetidas a vapor e pressão*

Verificou-se diferenças estatísticas (Tukey  $p < 0,05$ ) apenas para os tratamentos com tempos superiores a 50 s e para a amostra *in natura*, indicando o aumento do índice de acidez com o aumento do tempo de exposição ao vapor aquecido.

Os resultados da determinação de acidez, expressado em porcentagem de ácido oléico, do óleo extraído são apresentados na Tabela 24.

**Tabela 24.** Porcentagens de ácido oléico encontradas para as amostras de óleo analisadas e respectivos coeficiente de variação.

Tratamento	Ácido oléico (%)	C.V. (%)
0	0,13 <sup>d</sup>	9,31
1	0,14 <sup>d</sup>	14,37
2	0,18 <sup>d</sup>	3,07
3	0,15 <sup>d</sup>	17,41
4	0,28 <sup>cd</sup>	21,99
5	0,21 <sup>cd</sup>	8,31
6	0,22 <sup>cd</sup>	60,43
7	0,17 <sup>d</sup>	5,89
8	0,28 <sup>cd</sup>	3,55
9	0,22 <sup>cd</sup>	5,97
10	0,45 <sup>ab</sup>	14,76
11	0,34 <sup>bc</sup>	7,26
12	0,48 <sup>ab</sup>	0,92
13	0,23 <sup>cd</sup>	0,78
14	0,22 <sup>cd</sup>	7,55
15	0,24 <sup>cd</sup>	7,12
16	0,45 <sup>ab</sup>	6,47
17	0,34 <sup>bc</sup>	4,56
18	0,52 <sup>a</sup>	2,89

Letras subscritas diferentes indicam diferenças estatisticamente significativas entre as médias (Tukey,  $p \leq 0,05$ ).

Nos experimentos com DCCR (Delineamento Composto Central Rotacional) a faixa da pressão foi mantida e a faixa do tempo de exposição foi aumentada. A metodologia para

avaliar a energia de deformação foi modificada, ficando a mesma da utilizada para os ensaios com radiação infravermelha, descritas a seguir.

### **Ensaio preliminares com exposição à radiação infravermelha**

#### *Castanha do Brasil*

As castanhas foram obtidas no CEAGESP em São Paulo, sendo transportadas por rodovia até o Laboratório de Tecnologia Pós-Colheita da FEAGRI, Campinas, onde foram armazenadas em câmara fria a  $10 \pm 3^\circ \text{C}$ .

#### *Resistência mecânica da amêndoa*

Para o condicionamento com radiação infravermelha, preliminarmente, objetivou-se conhecer o método com menor coeficiente de variação para a avaliação da resistência mecânica da amêndoa. Para isso, foram testados corpos de prova com 8 mm de diâmetro e 8 mm de comprimento, obtidos verticalmente de 13 amêndoas *in natura*, expostas a radiação infravermelha por 120 s e 240 s. Utilizou-se de máquina universal de ensaios (TEXTURE ANALYSER, modelo TA 500) com célula de carga de 50N, equipada com pratos planos paralelos. Na avaliação comparou-se os coeficientes de variação da energia de deformação obtida até 7% da curva, força máxima e módulo de elasticidade.

### **Resultados dos ensaios com radiação infravermelha**

Os resultados obtidos para o condicionamento com radiação infravermelha expressos em Energia de deformação (mJ); Módulo de Elasticidade (kPa) e Força Máxima (N/m) são apresentados na Tabela 25.

**Tabela 25.** Valores obtidos para Energia de deformação (mJ); Módulo de Elasticidade (kPa) e Força Máxima (N/m) com seus respectivos coeficientes de variação.

Parâmetro	<i>In natura</i>			120 (s)			240 (s)		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Média	$1,57 \times 10^{-11}$	0,85	0,07	$2,07 \times 10^{-11}$	0,98	0,09	$1,73 \times 10^{-11}$	1,06	0,10
CV (%)	46,96	35,74	43,26	30,59	34,40	27,67	33,87	26,76	31,00

Parâmetro: 1. Energia de deformação (mJ); 2. Módulo de Elasticidade (kPa); 3. Força Máxima (N/m).

Os coeficientes de variação foram menores para o módulo de elasticidade e força máxima, no entanto a obtenção dos corpos de prova para os ensaios entre pratos planos é demasiadamente trabalhosa, devido ao tamanho da amêndoa e fragilidade dos seus tecidos. Diante disto decidiu-se por utilizar a energia de deformação até 7% de integração, obtida de ensaios com ponteira cilíndrica, como parâmetro para avaliar a resistência mecânica da amêndoa.