

7409882

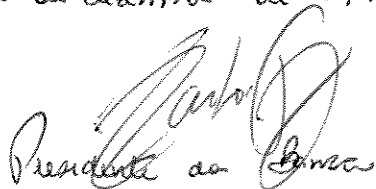
André Luis Gunes Rodrigues

**UTILIZAÇÃO DE INDENTES CÔNICOS ASSOCIADOS AO
IMPACTO PARA A QUEBRA DA NOZ MACADÂMIA**

Parar

Este exemplar corresponde a redação final da dissertação de Mestrado defendida por André Luis Gunes Rodrigues e aprovada pela Comissão Julgadora em 30 de agosto de 1996. Campinas, 06 de dezembro de 1996.

Dissertação de mestrado apresentado à
Faculdade de Engenharia Agrícola da
Universidade Estadual de Campinas


Presidente da Banca

Orientador: Prof. Dr. Antonio Carlos de Oliveira Ferraz

Campinas, 1996

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNIDADE	BC
CHAMADA	UNICAMP
	R618u
V.	Ex.
TOMBO BC	31478
PROC.	284197
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	29/08/97
Nº CPD	

CM-00100034-7

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

R618u

Rodrigues, André Luis Gunes

Utilização de indentes cônicos associados ao impacto
para a quebra da noz macadâmia / André Luis Gunes
Rodrigues.--Campinas, SP: [s.n.], 1996.

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

1. Noz macadâmia. 2. Cascas (Engenharia). I. Ferraz,
Antonio Carlos de Oliveira. II. Universidade Estadual de
Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo apoio financeiro.

À Faculdade de Engenharia Agrícola por apoiar o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Prof. Dr Antonio Carlos de Oliveira Ferraz pela orientação eficiente e dedicado apoio.

Ao Prof. Dr. Inácio M. Dal Fabbro, pela colaboração pertinente.

Ao Instituto de Artes, pelo empréstimo da prensa, cuja desenvolveu-se o trabalho.

À Usina Santa Adelaide (Dois Corregos-SP), pelo fornecimento da matéria prima.

Ao Técnico José Maria da Silva, pela confecção das ferramentas e do material de apoio do sistema quebrador.

À Prof^a. Dr^a Maria Aparecida A. P. Silva do Departamento de Alimentos e Nutrição FEA/UNICAMP, pela atenção e colaboração.

A minha querida esposa Celina de Almeida pelo apoio e tranquilidade transmitida.

Aos amigos Mário, Claudia, pela amizade sincera.

A todos que auxiliaram e tornaram possível a realização deste trabalho.

“Não vos preocupeis pelo dia de amanhã,
porque o amanhã trará o seu próprio cuidado;
ao dia basta o seu trabalho”.

Mateus, 6:34

Aos meus pais, José Quinderé e Dionília,
por todo amor e incentivo. E a
meus irmãos pelo companheirismo e apoio.

À Celina minha querida esposa,

e à Carolinee minha filha,

por todo amor recebido.

RESUMO

A noz macadâmia, é uma das mais recentes oleaginosas a entrar no mercado mundial, tendo como suas principais qualidades o baixo nível de colesterol e excelente palatibilidade.

No seu beneficiamento, a principal operação é a quebra, processo onde o número de amêndoas inteiras e metades definem a qualidade da referida operação. Neste trabalho investigou-se a atuação de ferramentas indentadas cônicas, associadas ao impacto, como também o desenvolvimento de processo de confecção de corpos de prova, para o cálculo das propriedades mecânicas da casca da noz.

Os indentes foram confeccionados com ângulos de ataque de 60^0 , e uma combinação de 45^0 e 120^0 , para uma variação de indentes de um a três pares. Confeccionou-se também uma ferramenta plana, sem indente, que serviu de comparação para a análise do efeito dos indentes na quebra. Os indentes foram alojados em tarugo de aço, cujo o conjunto foi denominado ferramenta, e numerados de 1 a 7.

Os resultados foram analisados em termos da direção de aplicação de carga, faixa

de diâmetro e números de pares de indentes atuando sobre a noz.

O desempenho dos indentes foram avaliados pelo nível de carga de atuação, pelo grau de fracionamento da casca e pelo dano mecânico causado na amêndoa.

Os resultados mostraram que, o impacto reduz sensivelmente os efeitos das características anisotrópicas da casca, em relação a obtenção de amêndoas inteiras, metades e amêndoas retidas.

A combinação angular de 45^0 e 120^0 , não gerou bons resultados. Os indentes só se diferenciaram da peça plana, em níveis de força, somente para a faixa de diâmetro de nozes acima de 24mm, apresentando os menores níveis de força para a ruptura.

A ferramenta 1, constituída de um par de indentes com ângulo de ataque de 60^0 , foi a que apresentou melhores resultados em amêndoas inteiras e metades, com 86,7%, mas não diferenciou estatisticamente da ferramenta sem indentes com 79,2% de amêndoas inteiras e metades.

SUMMARY

Macadamia nuts, one of the finest nut in the world, are tasteful and low in cholesterol content. Brazilian macadamia orchards are reaching productive stage and its a urge to design high performance industrial crackers to meet an increasing demand.

In this investigation 6 different conical indentors were constructed to investigate their performance associated with impact in cracking macadamia nut shells. The indentors were constructed using indent angles of 60 degrees and a combination of 45 and 120 degrees. An additional cracking tool, consisting of two flat surfaces with no indentors was used as reference.

The effects were analysed in terms of load application direction, as well as size and type of indentors. The comparison performance was done through the levels of impact force and degree of shell and nut fractioning.

The results demonstrated that the 45/120 degrees indentor angle combination was

not a good combination. The 60 degree angle indenter showed best results, 86,7%, of whole and half kernels. However, the flat tool showed also good results, 79,2%, which at a 5% level of significance, does not differentiate from the 60 degree indenter. The results also give evidence that impact forces promote macadamia shell cracking with less mechanical deformation and, consequently, less mechanical damage to the nuts.

SUMÁRIO

PÁGINA DE ROSTO.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO.....	vi
SUMMARY.....	viii
SUMÁRIO.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xii
LISTA DE QUADROS.....	xiv
1.INTRODUÇÃO.....	1
2.OBJETIVOS.....	3
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1.MACADÂMIA.....	4
3.2.PROPRIEDADES FÍSICAS.....	5
3.3.PROPRIEDADES MECÂNICAS.....	5
3.3.1.COMPORTAMENTO ELÁSTICO.....	7
3.3.2.TEORIA DAS TENSÕES DE CONTATO.....	8
3.4.ENSAIOS DINÂMICOS.....	14
3.5.CARACTERIZAÇÃO DA NOZ MACADÂMIA.....	15
3.5.1.FORMAS E DIMENSÕES DA NOZ MACADÂMIA.....	15
3.5.2.ANISOTROPISMO DA NOZ MACADÂMIA.....	16
3.6.QUEBRADORES DA NOZ MACADÂMIA.....	19
4.MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1.MATERIAL.....	24
4.1.1.NOZES MACADÂMIA.....	24
4.1.2.SECADOR.....	24
4.1.3.PRENSA UNIVERSAL	25
4.1.4.FERRAMENTAS.....	26
4.1.5.PRENSA EXCÊNTRICA.....	28
4.1.6.DISPOSITIVO QUEBRADOR DA CASCA DA NOZ MACADÂMIA.....	30
4.1.7.SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS.....	31
4.1.8.MATERIAL DE APOIO.....	31
4.2.MÉTODOS.....	32
4.2.1.PRÉ-PROCESSAMENTO.....	32
4.2.1.1.PRÉ-SELEÇÃO DAS NOZES MACADÂMIA.....	32
4.2.1.2.CARACTERIZAÇÃO DE TAMANHO DA NOZ MACADÂMIA.....	32
4.2.1.3.CARACTERIZAÇÃO DAS DIMENSÕES E DO PESO ESPECÍFICO APARENTE.....	32

4.2.1.4.DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE.....	33
4.2.1.5.SECAGEM.....	33
4.2.1.6.SELEÇÃO DAS NOZES POR FAIXAS DE TAMANHO.....	33
4.2.1.7.PREPARAÇÃO DAS NOZES PARA OS ENSAIOS DINÂMICOS.....	34
4.2.3.ENSAIOS DINÂMICOS.....	34
4.2.3.1.REGULAGEM DA INTERFERÊNCIA DAS FERRAMENTAS.....	36
4.2.3.2.PROCEDIMENTO DURANTE OS ENSAIOS.....	36
4.2.4. ENSAIOS DE COMPRESSÃO.....	38
4.2.4.1.DETERMINAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	38
4.2.4.1.1.CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE COMPRESSÃO UNIAXIAL.....	38
4.2.4.1.3.ENSAIO DE COMPRESSÃO EM NOZES MACADÂMIAS INTEIRAS.....	41
4.3.COMPARAÇÃO ESTATÍSTICA.....	41
5.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1. SECAGEM.....	43
5.2. CARACTERIZAÇÃO DE TAMANHO DA NOZ MACADÂMIA.....	43
5.3. ENSAIOS DINÂMICOS.....	44
5.3.1.SISTEMA DE AQUISIÇÃO.....	44
5.3.2. INFLUÊNCIA DA DIREÇÃO DE APLICAÇÃO DA CARGA DE IMPACTO.....	45
5.3.3.INFLUÊNCIA DO TAMANHO DA NOZ(FAIXA DE DIÂMETRO).....	55
5.3.4.COMPARAÇÃO ENTRE AS 7 FERRAMENTAS UTILIZADAS.....	62
5.3.5.COMPARAÇÕES COM PRINCÍPIOS DE QUEBRA, UTILIZA DOS EM MECANISMOS QUEBRADORES.....	68
5.4.RESULTADOS DOS ENSAIOS ESTÁTICOS.....	71
6.CONCLUSÕES.....	75
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	77
8.ANEXOS.....	78
9.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Comportamento elástico linear de um material.....	7
Figura 3.2 - Comportamento elástico não-linear de um material.....	8
Figura 3.3 - Contato de dois corpos convexos	9
Figura 3.4- Contato entre a esfera e o plano.....	10
Figura 3.5 - Orientação da noz macadâmia	17
Figura 3.6 - Desenho esquemático de três quebradores (Liang, 1977)	20
Figura 3.7 - Quebrador de noz macadâmia, mecanismo com taxa de deformação constante. (Sarig et al. 1980).....	22
Figura 3.8- Esquema de quebrador de noz por pancada esquematizado por Xavie (1992).....	23
Figura 4.1- Esquema do secador utilizado para a secagem da noz macadâmia.....	25
Figura 4.2-. Ferramentas 1 e 2	27
Figura 4.3- Ferramentas 3 e 4	27
Figura 4.4- Ferramentas 5 e 6	27
Figura 4.5-.Ferramenta sem indente.....	28
Figura 4.6- Sistema quebrador da noz macadâmia.....	29
Figura 4.7- Esquema de atuação do sistema montado, com a coluna suporte da ferramenta.....	30

Figura 4.8-. Sistema quebrador, e sistema de aquisição de dados.....	31
Figura 4.9-Selecionador de noz macadâmia por faixa de tamanho.....	34
Figura 4.10- Interferencias máximas dos indentes na casca da noz.....	35
Figura 4.11- Esquemática da atuação das ferramentas e anel deslizante sobre a noz macadâmia.....	35
Figura 4.12- Regulagem da máxima decida da haste.....	36
Figura 4.13- Figura esquemática da noz macadâmia e o perfil de sua casca.....	39
Figura 4.14- Primeira fase do processo de confecção do corpo de prova.....	39
Figura 4.15- Segunda fase do processo de confecção do corpo de prova.....	40
Figura 4.16- Terceira fase do processo de confecção do corpo de prova.....	40
Figura 4.17- Corpo de prova extraído da casca da noz (medidas em milímetros).....	41
Figura 4.18- Fluxograma do delineamento estatístico.....	42
Figura 5.1- Gráfico característico do processo de quebra por impacto.....	44
Figura 5.2 - Comparação entre as forças aplicadas em direções diferentes (Dir1-ápice-inserção, Dir-2- perpendicular a direção ápice inserção).....	47
Figura 5.3 - Comparação entre os resultados de cascas e amêndoas, para a direção de aplicação da carga, ápice-inserção. CASM - casca em metade, AMEI - amêndoa inteira, CASP - casca em pedaço e AMEP- amêndoa em pedaço.....	47
Figura 5.4 - Comparação entre os resultados de cascas e amêndoas, para a direção de aplicação da carga, perpendicular ao ápice-inserção.CASM-casca em metade, AMEI-amêndoa inteira, CASP-casca em pedaço e AMEP-amêndoa em pedaço.....	48
Figura 5.5- Anisotropismo da noz macadâmia. NAR-noz com amêndoa retida, CASM-casca em metade, CASP-casca em pedaço.....	51
Figura 5.6- Anisotropismo em relação ao rendimento das amêndoas, AMEI-amêndoas inteiras, AMEM-amêndoas em metades, AMEP - amêndoas em pedaços, AMER - amêndoas retidas.....	52

Figura 5.7- Correlação entre casca em metade e amêndoa inteira. CASM-casca em metade, AMEI-amêndoa inteira.....	54
Figura 5.8- Correlação entre casca em pedaço e amêndoa pedaço. CASP-casca em pedaço, AMEP-amêndoa pedaço.....	54
Figura 5.9- Relação faixa de diâmetro e resultado da ruptura da casca, NCAR- noz com amêndoa retida, CASM - casca em metade, CASP - casca em pedaço.....	58
Figura 5.10-Relação entre as faixas de diâmetro e rendimento das amêndoas AMEI- amêndoas inteiras, AMEM-amêndoas em metades, AMEP - amêndoas em pedaços, AMER - amêndoas retidas.....	59
Figura 5.11- Relação força e ferramentas.....	63
Figura 5.12- Relação ferramentas e forma de ruptura da casca, NCAR-noz com amêndoa retida, CASM-casca em metade, CASP-casca em pedaço.....	65
Figura 5.13- Relação ferramentas e rendimento da amêndoas, AMER - amêndoas retidas, AMEI- amêndoas inteiras, AMEM-amêndoas em metades, AMEP - amêndoas em pedaços.....	67
Figura 5.14-Comparação do rendimento das ferramentas indentadas com quebradores que utilizam o princípio da deformação até a ruptura, cisalhamento associado ao impacto e taxa de deformação constante.....	69
Figura 5.15- Índice de desempenho em termos de amêndoas inteiras e metades.....	70
Figura 5.16- Gráfico do ensaio de compressão dos corpos de prova.....	73
Figura 5.17 - Gráfico do ensaio de compressão das nozes.....	74

LISTA DE QUADROS

Quadro 5.1-Teste de Tukey relacionando força e direção de aplicação de carga.....	45
Quadro5.2- Teste deTukey relacionando noz com amendoa retida	46
Quadro 5.3- Resultados de amêndoas e cascas para a direção ápice-inserção.....	49
Quadro 5.4-Teste Tukey relacionando ferramenta e casca em metade na direção ápice inserção.....	50
Quadro 5.5-Teste Tukey relacionando ferramenta e casca em metade na direção perpendicular ao ápice inserção.....	50
Quadro 5.6- Teste de Tukey relacionando força e tamanho.....	55
Quadro 5.7- Teste de Tukey relacionando níveis de força, dentro da faixa de diâmetro de nozes acima de 24 mm.....	56
Quadro 5.8 -Teste de Tukey relacionando níveis de força, dentro da faixa de diâmetro de nozes 22-24mm.....	57
Quadro 5.9 -Teste de Tukey relacionando níveis de força, dentro da faixa de diâmetro de nozes acima de 20-22 mm.....	57
Quadro 5.10-Teste de Tukey para a faixa de diâmetro de 22-24 mm em relação a amêndoas inteiras.....	60
Quadro5.11- Teste de Tukey para força máxima de ruptura (Forças em N).....	63
Quadro 5.12-Resultados dos ensaios estáticos dos corpos de prova.....	71
Quadro 5.13 -Resutados dos ensaios estáticos da noz inteira na direção.....	72
Quadro 5.14 Resutados dos ensaios estáticos da noz inteira na direção perpendicular ao ápice inserção.....	73

1. INTRODUÇÃO

A macadâmia (*Macadâmia integrifolia*) é uma noz originária da Austrália Oriental, descoberta, coletada e classificada na década de 1850 nas províncias de Queensland e New South Wales, entre as latitudes 25° e 32° sul, OLIVEIRA, et al. (1991).

A indústria associada à macadâmia desponta com ótimas perspectivas, porém, uma de suas maiores dificuldades é a obtenção de amêndoas inteiras no processo de quebra da noz. Este processo se torna ainda mais complexo, visto que, uma série de fatores afetam a noz, tais como sua forma geométrica, falta de homogeneidade em sua dimensão e elevada resistência de sua casca, LIANG et al. (1984).

A baixa porcentagem de amêndoas inteiras obtidas na quebra têm sido uma das principais motivações do estudo das características dessa noz. Onde as propriedades físicas e mecânicas da casca, são parâmetros utilizados em projetos de quebradores de noz macadâmia, visando obter alta porcentagem de amêndoas inteiras.

Os quebradores existentes, em sua maioria utilizam três princípios, para a quebra da noz macadâmia. O da deformação até a ruptura, o da taxa de deformação constante e o do impacto associado ao cisalhamento.

Visando quebrar a casca da noz com uma pequena deformação, neste trabalho é investigada a aplicação de cargas de impacto associadas à concentração de tensões. As cargas foram aplicadas através de indentes cônicos. O desempenho dos indentes foi avaliado pelo grau de fracionamento da casca e pelo fracionamento causado à amêndoa.

2. OBJETIVOS.

Dos estudos citados na literatura sobre quebradores de noz, nota-se que as dificuldades encontradas no projeto de uma máquina quebradora, residem principalmente na alta resistência mecânica da casca e no seu anisotropismo. Esse fato leva os quebradores atuais a apresentarem um baixo rendimento de amêndoas inteiras.

Nisso se baseia a definição dos objetivos principais deste trabalho como:

- comparar o efeito da combinação de concentração de tensão e impacto ao rendimento de amêndoas inteiras e metades, e fracionamento da casca;
- determinar propriedades mecânicas da casca da noz e desenvolver técnicas para a confecção de corpos de provas, com parte extraída da concha.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

3.1. *Macadâmia.*

Segundo ALMEIDA NETO (1991) o fruto da macadâmia possui uma capa externa de consistência carnosa e de cor verde, cujo nome é pericarpo, também chamado de carpelo ou cápsula ou ainda vulgarmente denominada casca. Com a retirada do carpelo, obtém-se a semente, quando destinada ao plantio, ou a noz, para as demais finalidades.

A noz, de coloração marrom, tem a forma aproximadamente esférica, possuindo uma proteção externa duríssima, levemente rugosa e sendo algumas com pequenas manchas brancas. Essa proteção é o episperma, vulgarmente chamada de concha. A parte interna da noz, denominada endosperma, é formada por uma amêndoa de consistência frágil, com alto teor de óleo.

3.2. *Propriedades físicas.*

MOHSENIN (1965), enfatiza as propriedades físicas dos materiais biológicos, onde sintetizou as características importantes que devem ser determinadas, onde a grande importância do conhecimento dessas propriedades está no dimensionamento e desenvolvimento de equipamentos de secagem, transporte, projeto e construção de dispositivo de quebra, etc, LEITÃO (1983).

NEVES et al. (1993), determinou propriedades mecânicas e físicas (gravidade específica, porosidade, coeficiente de atrito, ângulo de repouso) de nozes macadâmias brasileiras, onde obteve 1,44mm de deformação para a ruptura, e 3,18mm de deformação para separar a amêndoa da casca, e onde não obteve diferenças significativas na máxima força de deformação para a quebra da casca, para os diâmetros de nozes de 20 a 23mm.

O conhecimento do peso específico, aparente e real, e da porosidade, de produtos agrícolas é aplicado em projetos de engenharia envolvendo dimensionamento de máquinas e equipamentos, BENEDETTI (1987).

3.3. *Propriedades Mecânicas.*

Segundo ANAZODO (1982), os materiais biológicos são sujeitos a forças mecânicas de diferentes tipos, durante os processos de colheita, processamento e estocagem, e o conhecimento das propriedades elásticas e visco-elásticas destes produtos, é de extrema importância.

Nos estudos de propriedades mecânicas dos materiais biológicos, foram usadas as mesmas técnicas empregadas na avaliação do comportamento de materiais, como aço, concreto e etc. Entre vários ensaios de avaliação mecânica, para biomateriais, o mais simples e comum é o de compressão. Corpos em suas formas originais ou espécimes convenientemente extraídas, podem ser submetidos à compressão. Os materiais biológicos apresentam propriedades elásticas, podendo-se portanto, calcular as constantes características dos materiais, (E,G,v e K), **ANAZODO (1982), MOHSENIN (1986)**. Assim, um ensaio uniaxial pode fornecer o valor do módulo de young (módulo de elasticidade).

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (3.1)$$

onde,

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (3.2)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \quad (3.3)$$

F - força [N];

S - área [m²];

l - comprimento do corpo de prova [m];

Δl - deformação, deslocamento[m];

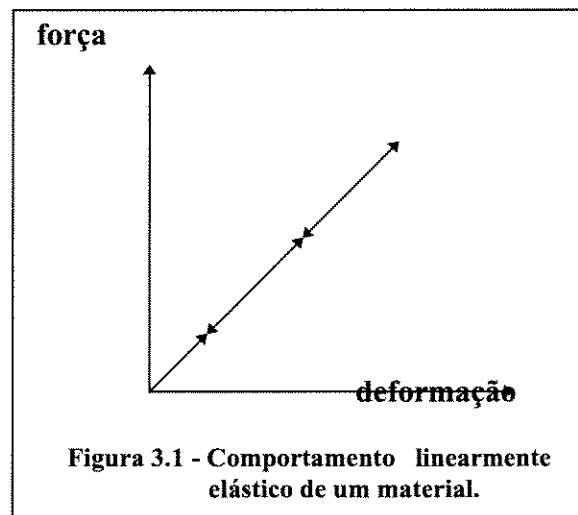
σ - tensão [N/m²];

E - módulo de elasticidade[N/m²];

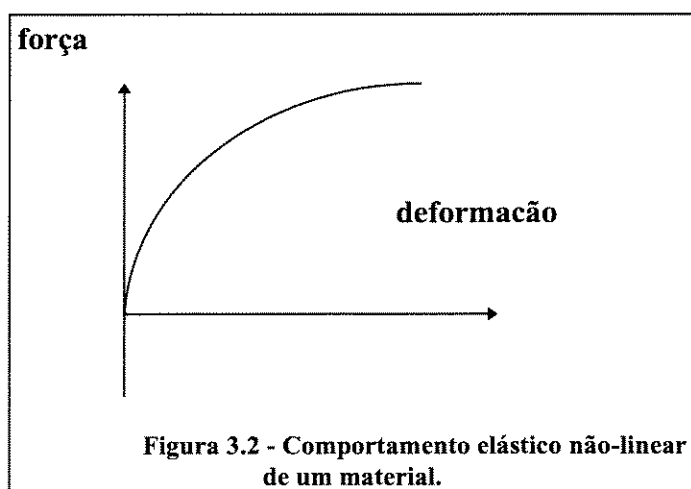
ε - deformação específica [m/m];

3.3.1. Comportamento Elástico.

Um material é chamado elástico, quando a deformação produzida no corpo, recupera-se após removidas as forças de deformação, figura 3.1. Para materiais linearmente elásticos, a relação entre tensão e deformação, corresponde a extensão linear do material, ANAZODO (1982).



Segundo MOUSTAFA (1967), a definição de módulo de elasticidade não requer que a curva tensão-deformação seja linear. Isto ocorrendo o módulo de elasticidade deve ser obtido através da secante ou tangente do módulo elástico. O mais comum é utilizar o módulo de elasticidade aparente, determinado da parte elástica da curva não linear, figura 3.2.



3.3.2. Teoria das Tensões de Contato.

Em 1896 Hertz propôs uma solução para as tensões de contato entre dois corpos elásticos isotrópicos, como ilustra a figura 3.3, cujas equações são utilizadas para estimar a deformação, MOHSENIN (1986). O contato é suposto sem atrito, e assume-se a inexistência de deslizamento.

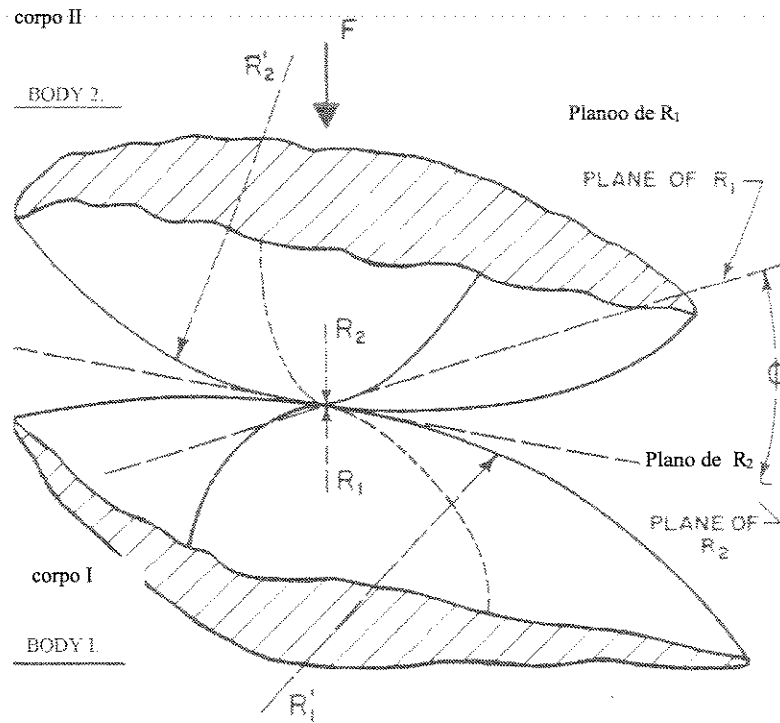


Figura 3.3 - Contato de dois corpos convexos .

Supondo duas esferas em contato, livre de carga, o contato se restringirá a somente um ponto de contato. Considerando um ponto de $\mathbf{m}$, na superfície de uma esfera, figura 3.4, distante $\mathbf{r}$ do eixo $\mathbf{z}$, e a uma distância $\mathbf{z}_2$ do ponto tangente.

sendo D a aproximação entre o ponto O e um ponto sobre o eixo Z . E se m e n forem abrangidos pela superfície de contato, cujos efeitos da deformação local são desprezíveis, tem-se:

$$z_2 = D - W_2 \quad (3.8)$$

substituindo a equação (3.6) em (3.8):

$$W_2 = D - C r^2 \quad (3.9)$$

De acordo com TIMOSHENKO, GOODIER (1980), uma carga distribuída sobre uma parte do contorno de um sólido semi-infinito, produzirá um deslocamento W_2 dado por:

$$W_2 = (k_1 + k_2) \frac{q_0 \pi^2}{4a} (2a^2 - r^2) \quad (3.10)$$

$$k_1 = \frac{1 - \nu_1^2}{\pi E_1} \quad (3.11)$$

$$k_2 = \frac{1 - \nu_2^2}{\pi E_2} \quad (3.12)$$

substituindo a equação (3.9) em (3.10),

$$D - Cr^2 = (k_1 + k_2) \frac{q_0 \pi^2 a}{2} - (k_1 + k_2) \frac{q_0 \pi^2 r^2}{4a} \quad (3.13)$$

cuja solução para quaisquer valores de r :

$$D = (k_1 + k_2) \frac{q_0 \pi^2 a}{2} \quad (3.14)$$

$$a = (k_1 + k_2) \frac{q_0 \pi^2}{4C} \quad (3.15)$$

Considerando uma distribuição hemisférica de pressão, tem-se que a pressão máxima é 1,5 vezes a pressão sobre a superfície de contato:

$$q_0 = \frac{3F}{2\pi a^2} \quad (3.16)$$

Para espécimes esféricos sendo comprimidos contra uma placa plana, tem-se:

$$E_1 \gg E_2, \text{ e portanto } k_1 \approx 0$$

substituindo (3.12) e (3.16) em (3.14) e (3.15), tem-se a deformação e o raio da superfície de contato,

$$D = \frac{3F(1 - \nu_2^2)}{4E_2a} \quad (3.17)$$

$$a^3 = \frac{3F(1 - \nu_2^2)R_2}{4E_2} \quad (3.18)$$

substituindo (3.18) em (3.17), tem-se

$$D^3 = \left(\frac{3F(1 - \nu_2^2)}{4E_2} \right)^2 \frac{1}{R_2} \quad (3.19)$$

rearranjando a equação (3.16), tem-se:

$$E_2 = 0,75F(1 - \nu_2^2)^2 \frac{1}{D^{3/2}} \frac{1}{R_2^{1/2}} \quad (3.20)$$

Esta equação possibilita a obtenção do módulo de elasticidade de um corpo esférico.

3.4. Ensaios dinâmicos.

Na mecânica clássica o impacto é caracterizado como sendo a colisão de dois corpos, gerando forças de contato relativamente grandes, que atuam durante um período de tempo muito curto.

HAMMERLE e MOHSENI (1966), estudaram aspectos dinâmicos envolvendo frutas, afirmando que o conhecimento desses aspectos são necessários para determinar os procedimentos que envolvem produtos agrícolas

Segundo FINNEY e NORRIS (1968), técnicas para medidas das propriedades mecânicas de materiais como, rochas, metais, polímeros, concreto e vidros são extensamente utilizadas, para materiais biológicos.

FLUCK e AHMED (1973), realizaram teste de impacto em frutas e vegetais, objetivando pesquisar conceitos mecânicos, tais como conservação de energia e conservação de momentum-impulso, na relação do impacto de frutas e vegetais. Como também, examinar a curva de impacto, tempo-desaceleração de frutas e vegetais para determinar, exatamente quando ocorre o início do dano, e entender qual dos parâmetros do impacto (impulso, energia, velocidade, força, etc.) são associados ao dano.

DELWICHE e SARIG (1991), desenvolveram um sensor instrumentado para medir o impacto característico de varias frutas e determinar a firmeza. Este sensor foi operado por um cilindro pneumático o qual retornava a massa de impacto de um corpo de prova. A aceleração da massa foi registrada com o auxílio de um algoritmo, desenvolvido para

analisar a forma característica da força de impacto. Procurou-se estabelecer uma correlação entre firmeza e profundidade de penetração do sensor.

Os autores mencionados anteriormente, procuraram estabelecer relações para os ensaios dinâmicos, com intuito de gerar parâmetros para evitarem danos mecânicos em produtos agrícolas, evidenciando assim, a importância dos ensaios dinâmicos para inferir seu comportamento durante a colheita mecânica, transporte e manuseio.

HAMMERLE e MOHSEENIM (1966), afirmaram que altas velocidades nos ensaios dinâmicos, produzem pequenos deslocamentos e elevados níveis de força, e, buscando essas características identificadas pelos autores, esse experimento foi idealizado, para romper a casca da noz macadâmia, com pequenas deformações.

3.5. Caracterização da noz macadâmia.

3.5.1. Formas e dimensões da noz macadâmia.

Em geral na literatura, a geometria da noz macadâmia é caracterizada como, esférica, quase perfeita ou globosa. A forma e dimensões da noz macadâmia são importantes nos projetos de quebradores, onde o objetivo é liberar amêndoa inteira, sem dano.

LEVERINGTON (1962), avaliou variedades de noz macadâmia para processamento, em 1954. Num lote de 100 amostras, mediu-se do ápice a base (mm).

21,3mm e máx. 29,6mm) e o diâmetro do centro (min.20,0mm e máx.27,5mm) em média com uma amostragem de 10% de cada lote, concluindo que a noz apresenta forma oval.

Uma das maneiras de se avaliar a forma de um sólido, segundo MOHSENIN (1970), está em determinar o seu grau de esfericidade que expressa o caráter da forma do mesmo em relação a uma esfera de mesmo volume. Assumindo-se que o volume do sólido seja igual ao volume de um elipsóide triaxial com dimensões x, y e z, e que o diâmetro da esfera circunscrita é a dimensão maior do elipsóide, definiu o grau de esfericidade, ψ como:

$$\psi = \left[\frac{\text{volume do sólido}}{\text{volume da esfera circunscrita}} \right]^{1/3} = \left[\frac{(\pi/6)xyz}{(\pi/6)y^3} \right]^{1/3} = \left[\frac{xz}{y^2} \right]^{1/3} \quad (21)$$

onde:

x: a dimensão maior normal a y;

y: a dimensão maior;

z: a dimensão maior normal a y e x.

As dimensões cruzam-se em um ponto comum.

3.5.2. Anisotropismo da noz macadâmia.

TANG et al. (1982), em seu estudo sobre avaliação da deformação da noz macadâmia na quebra, definiram um meio de orientação para identificação da posição das trincas na superfície da casca da noz, como é mostrado na figura 3.5.

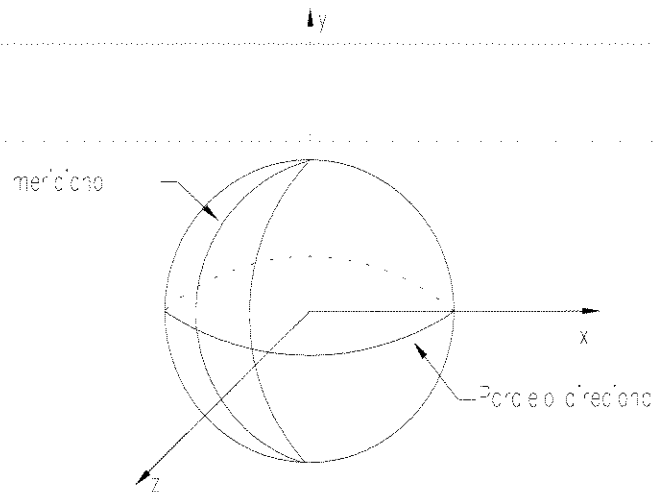


Figura 3.5 - Orientação da noz macadâmia

Em seus estudos sobre as sobre o carregamento e geração das trincas, verificaram que estas surgiram originalmente na direção meridional, e mesmo com o aumento da tensão de compressão, essas trincas cessavam sua propagação, surgindo uma outra trinca, que denominaram de secundária, na direção perpendicular a da primeira trinca, ou seja, na direção denominada paralelo direcional.

HEARN (1976), explica que a propagação das trincas em materiais fibrosos e reforçados, tais como madeiras e compostos de resina e fibra de vidro, que apresentam interfaces, as trincas podem ser retardadas, ou até mesmo interrompidas, devido ao aumento da área de concentração de tensão da trinca, quando esta atinge uma interface.

Talves isto explique estas características do processo de quebra da casca da noz macadâmia, descrito por TANG et al. (1982).

BRAGA et al (1995), estudaram o comportamento mecânico da noz macadâmia em função do teor de umidade da casca, do tamanho da noz, da posição e taxa de compressão, concluíram que a noz sujeita a diferentes direções de aplicação de cargas apresenta comportamento diferente, em cada uma destas direções. Concluíram também que a direção que apresentou uma menor deformação para atingir a ruptura, foi aquela que TANG et al (1982), denominaram de meridiano. E a que exigiu maiores níveis de força, deformação e energia, para a ruptura da casca, foi a sua direção perpendicular.

Nos estudos de TANG et al (1982), foi verificado que quando a noz macadâmia foi submetida a diversos pontos de contato durante a compressão, apresentava diversas fraturas nas regiões abaixo e próximas aos pontos de contato, facilitando portanto a quebra. Estudaram dois métodos de aplicação das tensões, com dois pontos de contato e quatro pontos de contato, verificando que as trincas originaram-se nas regiões de alta tensão, e que múltiplas trincas iniciais ocorrem mais vezes, quando se aplica mais de dois pontos de carregamento. Verificaram também, que a diferença de tamanho, influenciou na aplicação das tensões, variando muito a deformação para diferentes tamanhos de noz e induzindo portanto a modificação de compressão, por faixa de tamanho.

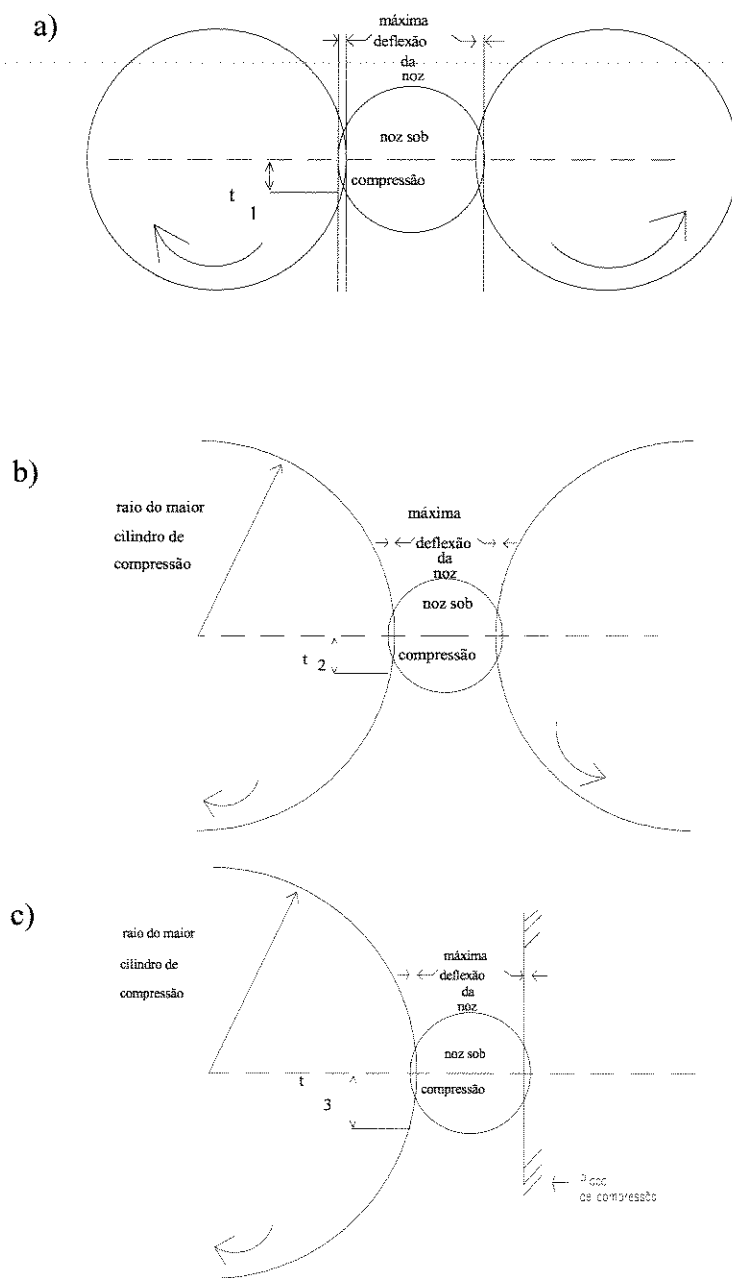
3.6. Quebradores da noz macadâmia.

Segundo MOLTZAU et al. (1939), o primeiro modelo de quebrador foi uma serra circular para cortar a casca em metades sem tocar a amêndoa. Este projeto foi abandonado, devido ao baixo rendimento e um custo muito alto.

LIANG (1977), concluíram que grande parte da perda, na obtenção de amêndoas inteiras e metades, residia no processo de quebra. O princípio básico, até então utilizado, era o de comprimir a noz entre uma superfície cilíndrica em movimento e uma placa plana estacionária, mostrado na figura 3.6(a,b e c). Com isto supôs, que o processo, afim de ter um melhor rendimento na recuperação de amêndoas inteiras, deveria ser constituído de:

- 1- curto período de aplicação da força, com mínima ação de compressão;
- 2- as nozes deveriam conter um teor de umidade que preservasse a qualidade das amêndoas e facilitasse a quebra.

Em seu projeto final, verificou que um par de cilindros de diâmetros pequenos, teriam um tempo de compressão duas vezes menor, que o cilindro e a placa estacionária. Verificou também que as nozes deveriam sofrer um processo de vibração, a fim de que as amêndoas aderidas as paredes no interior da concha, se soltassem.



t_1, t_2, t_3 : distância máxima onde a noz quebrada está sob compressão (medida a partir do lugar em que a noz macadâmica está sob deflexão máxima). Isto para as seguintes configurações:

- a) dois pequenos cilindros (t_1);
- b) dois grandes cilindros (t_2);
- c) um grande cilindro e uma placa estacionária (t_3).

Figura 3.6 - Desenho esquemático de três quebradores (Liang, 1977)

SARIG et al (1980), desenvolveram um quebrador de nozes, utilizando o princípio da taxa de deformação constante, procurando assegurar uma uniformidade na quebra. Esse quebrador, apresentava um êmbolo no interior de um rotor para comprimir a noz contra uma placa excêntrica como mostra a figura 3.7. Neste processo, assumiu-se que, a noz tivesse uma geometria muito próxima a de uma esfera, não orientando-se portanto o carregamento. No experimento utilizaram-se nozes com teor de umidade variando de 7,6% a 13,6% b.s. Antes da quebra, as nozes foram submetidas a uma vibração, a fim de soltar a amêndoa da casca. Concluíram que suas hipóteses básicas relativas ao princípio de operação apresentaram bons resultados, com a ressalva de que, a seleção nozes por tamanho deveria ocorrer antes do processo de quebra. O desempenho do quebrador foi analisado pela porcentagem de amêndoas inteiras e metades obtidas.

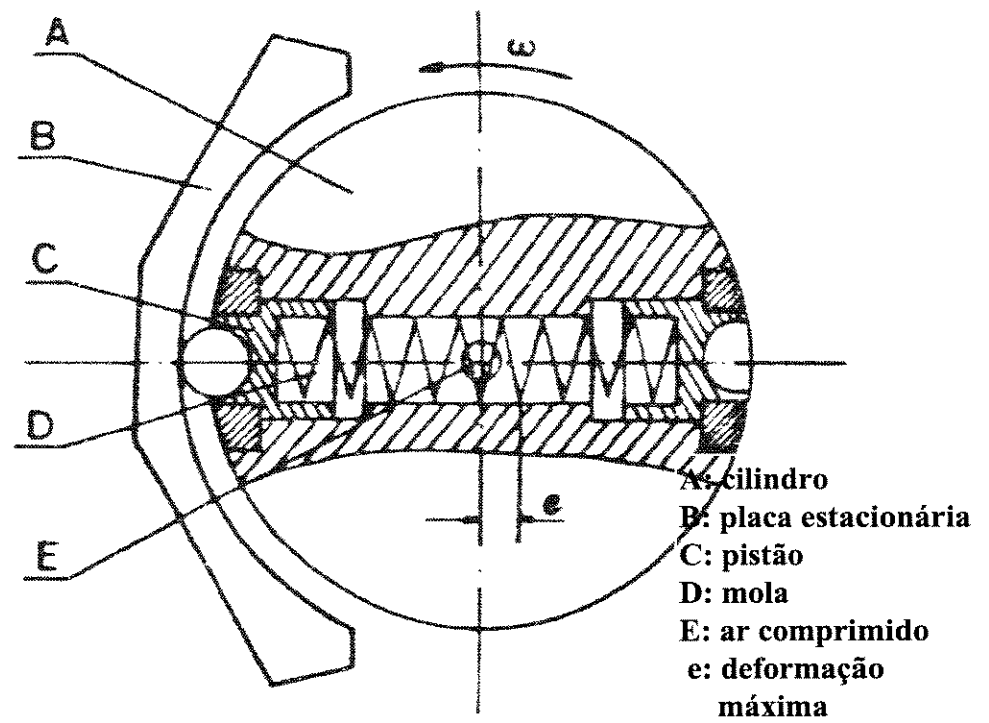


Figura 3.7 - Quebrador de noz macadâmia, mostrando o princípio e operação de quebra com a taxa de deformação constante. (Sarig et al. 1980)

4.Material e métodos.

4.1. Material.

4.1.1.Nozes Macadâmia.

O trabalho foi desenvolvido com frutos descarpelados de macadâmia (*Macadâmia integrifolia*), cedidos pela Usina Santa Adelaide (Dois Corregos-SP). Foram utilizados cerca de 40kg da matéria prima, os quais segundo o fornecedor, consistem numa mistura de variedades.

4.1.2.Secador.

Para o processo de secagem das nozes, utilizou-se um secador de fluxo ascendente, cujo ventilador, acionado por um motor de 1,84 W (0,25 cv) e 1720rpm, promovia um fluxo de ar aquecido através de duas resistências elétricas (450 W). A coluna de secagem, em aço-galvanizado, apresentou dimensões de com 810mm de altura e 305mm de diâmetro,

com capacidade para $\pm 40\text{kg}$ de nozes. A verificação da temperatura do ar de secagem, foi feita através de um termômetro de mercúrio instalado no tubo de PVC a uma distância de 75mm da coluna. Um diagrama esquemático dos principais elementos do secador é mostrado na figura 4.1.

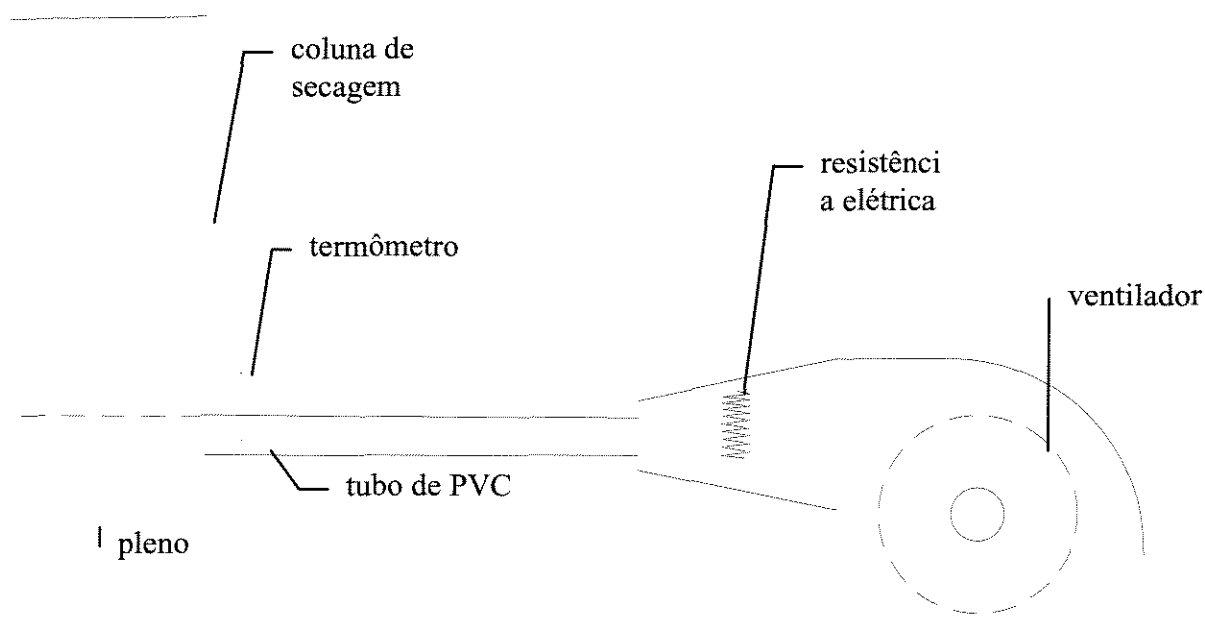


Figura 4.1- Esquema do secador utilizado para a secagem da noz macadâmia.

4.1.3.Prensa Universal de Ensaio.

Utilizou-se uma prensa universal de ensaio, com taxa de deformação variável, de marca “Ottawa Texture Measuring System” (Research Model, Cannery Machinery Ltda), para a obtenção do módulo de elasticidade da noz (módulo aparente) e o módulo de elasticidade da casca (módulo real).

4.1.4.Ferramentas.

Para investigar o processo de quebra das nozes macadâmia, através da concentração de tensão em vários pontos da casca, foram fabricadas 7 ferramentas, concebidas para trabalharem em pares, sendo uma inferior e outra superior. Essas ferramentas apresentam de 1 a 3 indentes construídos em dois formatos diferentes. A diferenciação consiste na forma dos ângulos de ataque dos indentes. Um grupo de ferramentas foi construído com indentes com ângulos de ataque de 60° , e outro, com uma combinação de ângulos 45° e 120° , como ilustram as figuras 4.2, 4.3, 4.4. Um outro tipo de ferramenta, mostrada esquematicamente na figura 4.5, foi construída, de formato plano. As ferramentas foram numeradas de 1 a 7, como mostra as figuras 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5. Todas ferramentas foram confeccionadas com aço comercial VND, tratados termicamente.

As ferramentas 1 e 2 foram confeccionadas com um par de indentes cônicos. A ferramenta 1 apresenta indentes com um ângulo de 60° , enquanto que a ferramenta 2 uma combinação de ângulos de 45° e 120° .

As ferramentas 3 e 4 foram confeccionadas com 2 pares de indentes cônicos. A ferramenta 3, apresenta indentes com ângulos de 60° , enquanto que a ferramenta 2, uma combinação de ângulos de 45° e 120° .

As ferramentas 5 e 6 foram confeccionadas com 3 pares de indentes cônicos. A ferramenta 5, apresenta indentes com ângulos de 60° , enquanto que a ferramenta 6, uma combinação de ângulos de 45° e 120° .

Devido ao anisotropismo apresentado pela casca, os indentes foram confeccionados no formato cônico, a fim de facilitar a geração de trincas, independente da direção de aplicação da carga.

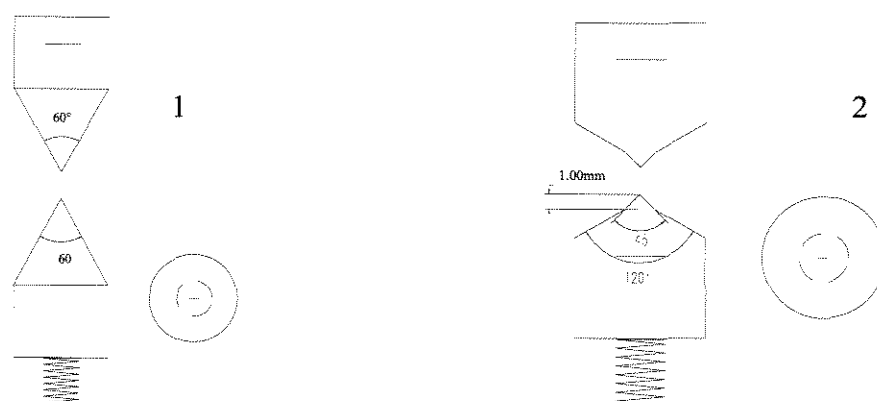


Figura 4.2- Ferramentas 1 e 2.

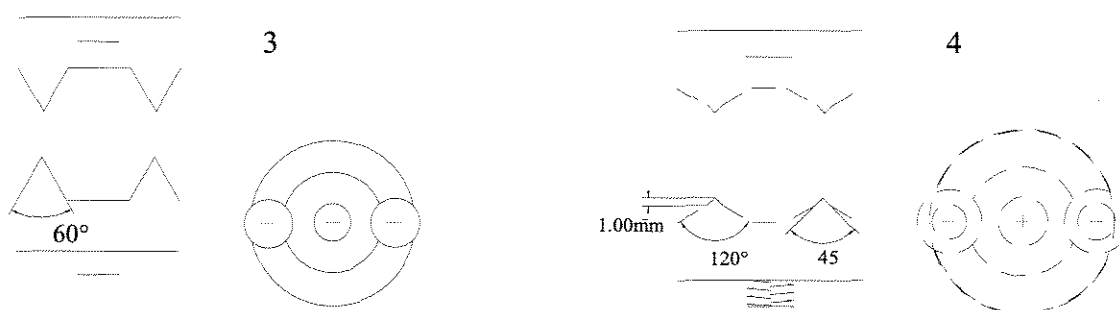


Figura 4.3- Ferramentas 3 e 4.

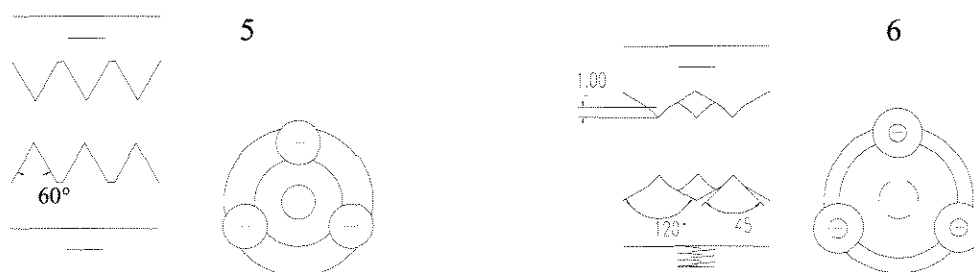


Figura 4.4- Ferramentas 5 e 6.

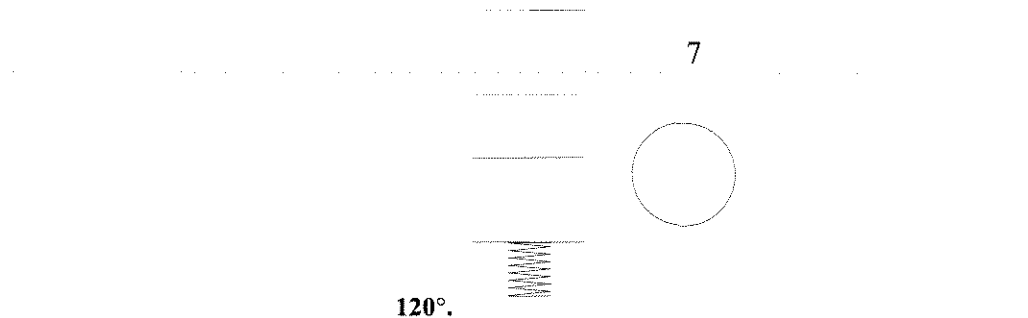


Figura 4.5-.Ferramenta sem indente, ensaiada para fins comparativos de desempenho.

4.1.5.Prensa excêntrica

As ferramentas foram adaptadas no cabeçote de uma prensa excêntrica, para que na quebra da casca, fossem combinados os efeitos da concentração de tensão através dos indentes, com os da carga de impacto.

Portanto, para os ensaios dinâmicos utilizou-se uma prensa excêntrica (comercializada pela S. A WHITE MARTINS), com disparo manual, 40.000 N de capacidade, acionada por um motor de 11W (1,5 cv) a uma rotação 3480rpm, conforme figura 4.6. A velocidade do cabeçote no momento do impacto foi estimada em 16200 mm/s, aproximadamente.

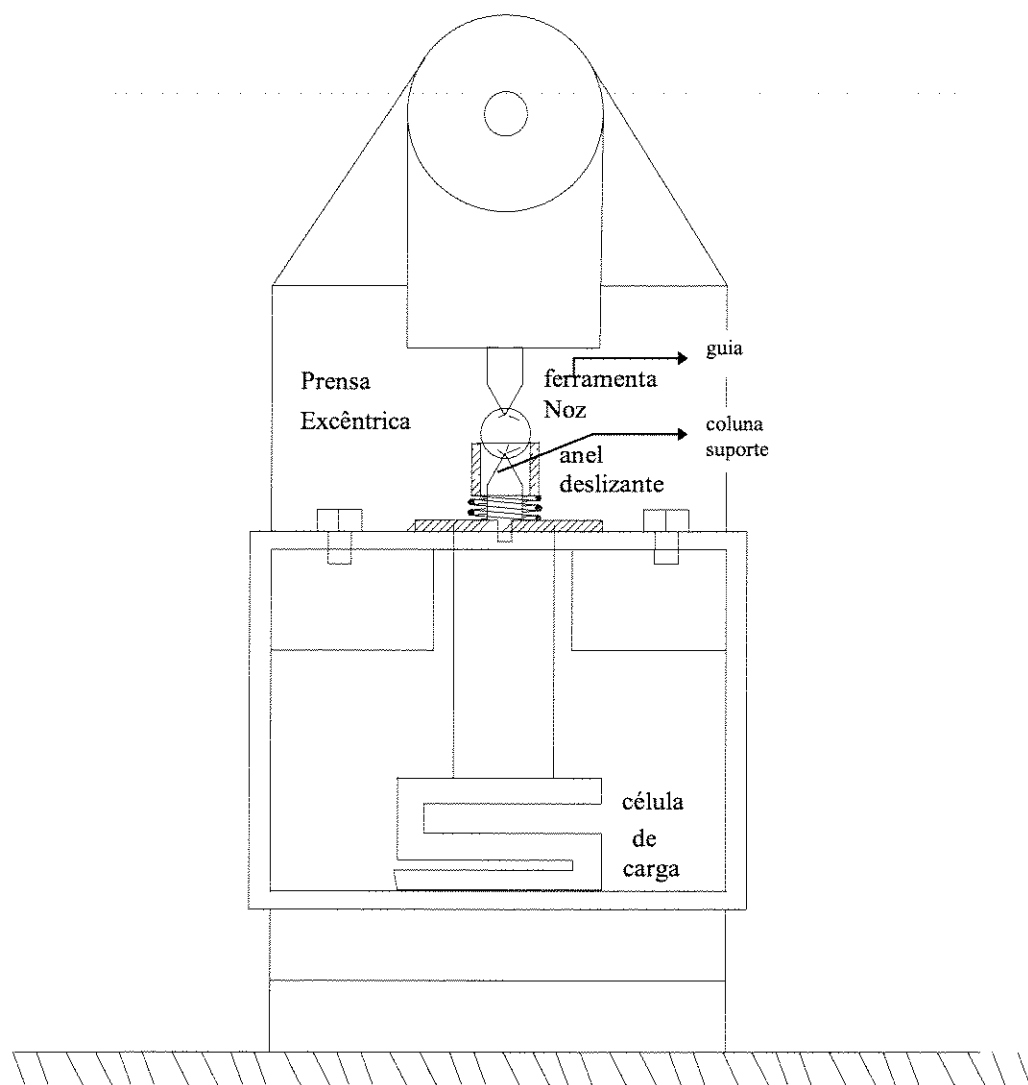


Figura 4.6- Sistema quebrador da noz macadâmica

4.1.6. Dispositivo Quebrador da Casca da Noz Macadâmia.

Com o objetivo de acomodar devidamente as nozes e permitir a aplicação do impacto através das ferramentas e posicionar convenientemente uma célula de carga, um dispositivo foi projetado e construído, conforme mostra figura 4.7. O sistema foi projetado, de modo que, durante a aplicação da carga, essa fosse transmitida sem interferências. Utilizou-se de uma célula de carga em “S”, com uma capacidade de 10.000 N. Esta capacidade da célula de carga, foi determinada experimentalmente por ensaios preliminares.

A base do quadro constituído por uma chapa de aço (6,35mm), mantém fixa a célula de carga, formando um conjunto rígido com a prensa.

Uma proteção para evitar perda de material, composta pelo corpo de um recipiente plástico, funcionou como proteção lateral, encaixando-se no suporte inferior da ferramenta, funcionando como uma bandeja.

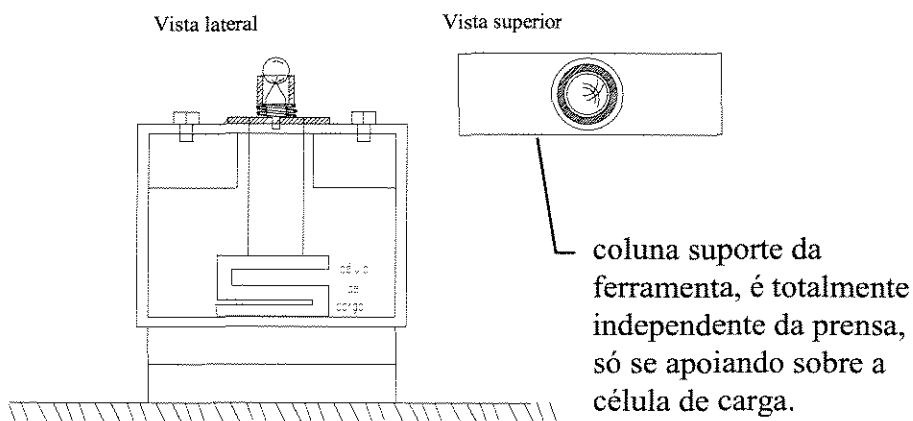


Figura 4.7- Vista esquemática do sistema montado, com a coluna suporte da ferramenta.

4.1.7. Sistema de Aquisição de Dados.

A célula de carga foi ligada a um condicionador de sinais extensiométrico, de 5 canais (Interface - modelo IN5), e esse ligado a um computador DX4-100MZ. Para o registro da variação de força utilizou-se um sistema de aquisição de dados (Advantech-modelo PCL818), com 12 bits de resolução, 16 canais no modo comum e com uma taxa máxima de amostragem de 10^5 Hz, figura 4.8. A coleta de dados foi feita a uma taxa de 5.000 pontos por segundo. Para a leitura e processamento dos dados utilizou-se o software Excel 5.0.

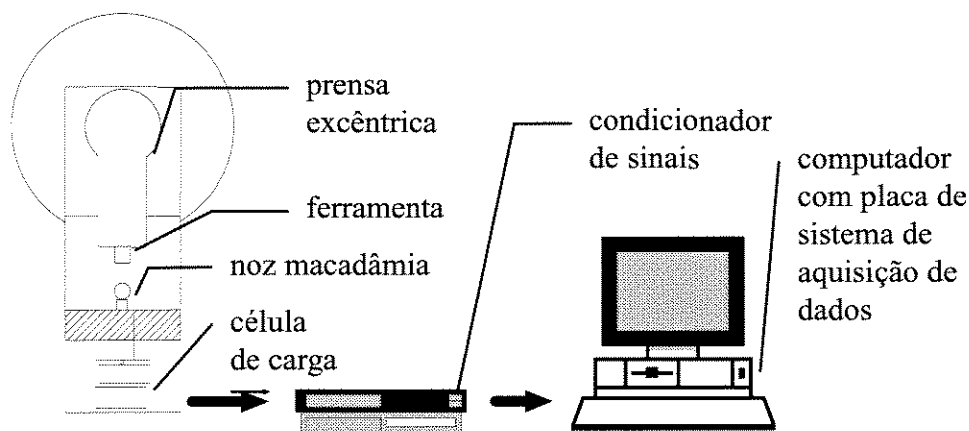


Figura 4.8-. Sistema quebrador e sistema de aquisição de dados.

4.1.8. Material de apoio.

Para coleta do material processado, foram utilizadas bandejas onde o material foi devidamente acondicionado. Ao final das repetições, o material foi pesado em uma balança analítica com precisão de 0,1g.

4.2. Métodos.

4.2.1. Pré-Processamento.

4.2.1.1. Pré-seleção das nozes macadâmia.

As nozes foram mergulhadas em um tanque com água a temperatura ambiente, para a separação e descarte das nozes que flutuaram.

4.2.1.2. Caracterização de tamanho da Noz Macadâmia

Para a caracterização do tamanho do fruto foram determinadas as dimensões em três direções mutuamente perpendiculares (y, x, z), sendo uma delas a direção ápice-inserção (direção y). As medidas foram realizadas em 540 frutos, selecionados aleatoriamente, através de um paquímetro Mitutoyo com precisão de $\pm 0,002$ mm.

4.2.1.3 - Caracterização das dimensões e do peso específico aparente.

Mediu-se o volume aparente utilizando-se de um aparelho descrito por BENEDETTI e JORGE (1987), onde as nozes eram despejadas e se acomodavam sem interferência, em uma vasilha de dimensões conhecidas. Calculou-se o peso específico aparente através da equação:

$$P_{ap} = \frac{m}{V_r}, \quad (4.1)$$

onde,

P_{ap} é peso específico aparente, em g/ml;

m é massa do produto em g;

V_r é volume do recipiente em ml.

4.2.1.4.Determinação do teor de umidade

Para a determinação do teor de umidade utilizou-se o método da estufa, onde as nozes macadâmia inteiras descarpeladas e amêndoas, foram mantidas durante 24 horas a 105°C. Seis recipientes de alumínio foram utilizados, onde três deles receberam as nozes inteiras descarpeladas(5 nozes em cada recipiente). Os outros três foram utilizados para as amêndoas extraídas manualmente, contendo cinco amêndoas em cada recipiente.

4.2.1.5. Secagem.

Cerca de 40 kg de nozes macadâmias foram secas (figura 4.1.) com um fluxo de ar aquecido através de uma resistência elétrica (450 W), a uma velocidade de 6,77m/s e a uma temperatura de 60°C.

4.2.1.6. Seleção das nozes por faixas de tamanho.

As nozes foram selecionadas por faixas de tamanho através de um par de trilhos dispostos um ao lado do outro num plano inclinado, com um afastamento variável de 10mm a 28mm. As nozes foram roladas sobre os trilhos e quando o afastamento entre esses atingia

uma dimensão maior que o diâmetro das nozes, essas caíam e eram recolhidas em sacos plásticos. Os sacos foram posicionados convenientemente de forma a coletar as nozes nas posições respectivas às faixas de tamanho de 18-20 mm, 20-22 mm, 22-24 mm, 24-27 mm. O procedimento é ilustrado pela figura 4.9.

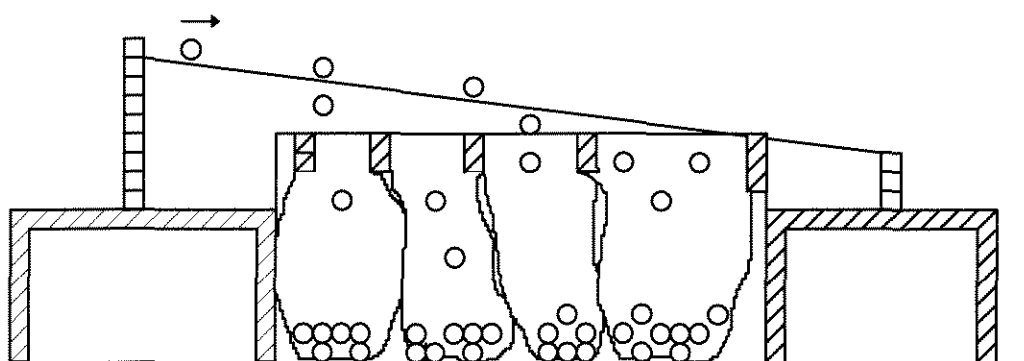


Figura 4.9-Selecionador de noz macadâmia por faixa de tamanho.

4.2.1.7.Preparação das nozes para os ensaios dinâmicos

As nozes foram derrubadas a uma altura de um metro sobre uma superfície rígida em queda livre, a fim de que as amêndoas se soltassem no interior da concha, conforme recomendado por NEVES et al (1994).

4.2.3.Ensaio dinâmico

Os ensaios dinâmicos foram realizados com intuito de estudar o fracionamento da casca, o rendimento quanto a liberação da amêndoas e obter as cargas de impacto.

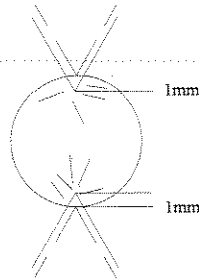


Figura 4.10- Interferências máximas dos indentes na casca da noz.

A carga de impacto foi aplicada à noz através das ferramentas acopladas à prensa excêntrica. As interferências entre as ferramentas e as nozes foram definidas de tal forma que, cada indente não penetrasse teoricamente, mais que 1mm, conforme ilustra a figura 4.10. Para cada disparo da prensa, a noz foi acomodada sobre a ferramenta inferior, alinhada com a ferramenta superior, para a transmissão da carga de impacto.

A fim de ajudar a centralização das nozes sobre a ferramenta, construiu-se um anel deslizante, sustentado por uma mola de constante elástica baixa, conforme ilustra a figura 4.11.

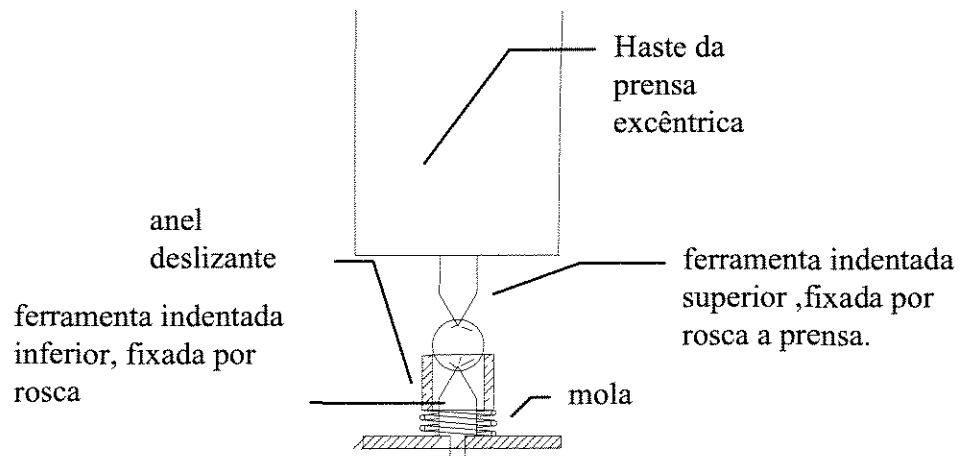


Figura 4.11- Esquema da atuação das ferramentas e anel deslizante sobre a noz macadâmica.

4.2.3.1. Regulagem da interferência das ferramentas .

Antes de cada ensaio, o percurso da ferramenta, acoplada à prensa excêntrica, foi regulado para produzir uma interferência em cada faixa de diâmetro das nozes macadâmia, conforme ilustra a figura 4.12.

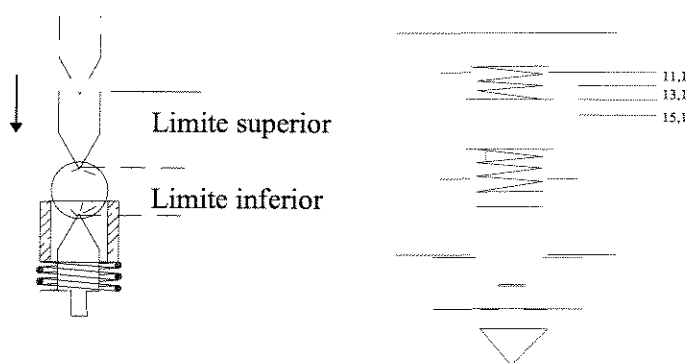


Figura 4.12- Regulagem da máxima decida da haste.

Assim, as nozes foram submetidas à deformações específicas diferentes. A faixa de diâmetro de nozes acima de 24, teve $\epsilon \% = 7,7$, a faixa de 22-24 mm, $\epsilon \% = 8,7$ e a faixa de 20 - 22 mm , teve $\epsilon \% = 9,5$. Essas interferência foram estabelecida tomando-se como referência o diâmetro médio de cada faixa de tamanho, com exceção da faixa acima de 24mm, a qual teve regulagem para o diâmetro de 26mm. A variação máxima das interferências, para todas as faixas, não ultrapassou a 2 mm.

4.2.3.2. Procedimento Durante os Ensaios.

Neste ensaio, os 7 pares de ferramentas foram testados, sendo um destes sem indentes, para fins comparativos de desempenho.

As nozes foram ensaiadas em duas direções, sendo uma delas a direção do ápice-inserção, e a outra, uma direção perpendicular. Para o ensaio, utilizaram-se cinco repetições com 10 nozes para cada ferramenta, totalizando 50 nozes. Antes da realização dos ensaios, as nozes foram pesadas, ensacadas e identificadas, para cada repetição. Após o ensaio, o material resultante da quebra da noz, para cada grupo de 10 nozes, foi separado, pesado e classificado em 3 grupos de interesse, **noz**, **casca** e **amêndoa**, conforme RODRIGUES et al.(1996).

A **noz** foi classificada em 2 subgrupos: **não quebradas** e **quebradas com amêndoas retidas**. A noz quebrada com amêndoa retida foi aquela que teve a casca parcialmente quebrada, de forma a não permitir a liberação da amêndoa. Esse subgrupo foi pesado de duas formas, uma com a noz inteira (amêndoa e casca), e esse dado foi computado na categoria noz. Subseqüentemente rompeu-se totalmente a casca com o auxílio de uma morsa, liberando a amêndoa retida. A amêndoa foi pesada e computada na categoria da amêndoa, no subgrupo amêndoa retida.

A categoria da **casca**, foi subdividida em 3 subgrupos: **metade**, **pedaços** e **lasca**.

O categoria **amêndoa**, foi subdividido em 5 subgrupos: **inteira**, **metade**, **pedaço**, **lasca**, e **amêndoa retida**.

Para cada **faixa de tamanho** investigou-se os efeitos da **direção** de aplicação de carga, e da **ferramenta**. Assim, fixada uma direção, todas as ferramentas foram ensaiadas, para cada faixa de tamanho. Após a ultima faixa de tamanho, mudou-se a direção de aplicação da carga e se iniciou novamente o ensaio com a primeira faixa de tamanho ensaiada anteriormente.

Para cada ferramenta foram escolhidos aleatoriamente 5 lotes de 10 nozes e pesados dentro da faixa de tamanho em questão. Imediatamente após a quebra, procedeu-se uma separação manual, das cascas e amêndoas, conforme os grupos e subgrupos citados anteriormente. Os grupos e subgrupos foram pesados imediatamente após a classificação.

4.2.4. Ensaios de compressão.

4.2.4.1. Determinação do módulo de elasticidade.

4.2.4.1.1. Confeção dos corpos de prova para ensaio de compressão uniaxial.

Foram extraídos corpos de provas da casca da noz macadâmia na forma de um paralelepípedo, a fim de se realizar ensaios uniaxiais de compressão, para a obtenção do módulo de elasticidade. O processo de confecção dos corpos de prova é descrito aqui em três fases.

Primeira fase. Para uma melhor uniformidade dos corpos de prova, eles foram extraídos da casca de nozes macadâmia, com diâmetro acima de 25mm, na direção do ápice-inserção, na região próxima a inserção do pedúnculo. Esta posição, favorece uma uniformidade da espessura da casca, haja visto que, a espessura da casca varia ao longo da direção ápice-inserção. Sendo mais espessa na região próxima ao ápice-inserção, e menos espessa na região oposta, conforme ilustra a figura 4.13.

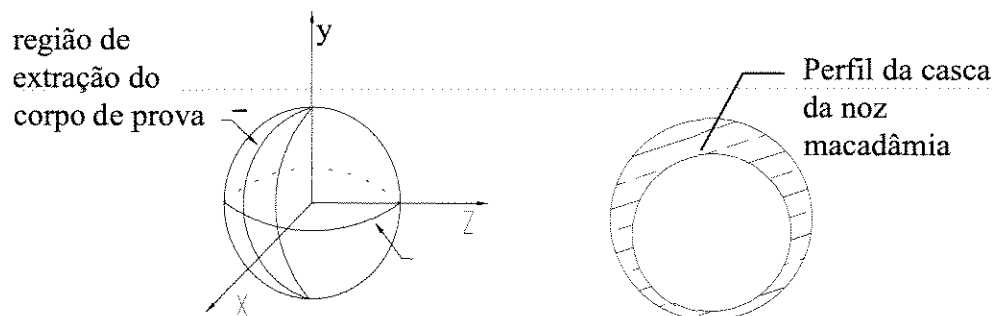


Figura 4.13- Figura esquemática da noz macadâmia e o perfil de sua casca.

O corpo de prova teve primeiramente um formato de uma calota esférica, com aproximadamente 12mm de diâmetro, por ter sido extraído através de uma serra copo de 17mm de diâmetro.

Após a extração, uma das faces, de maior área, foi desbastada através de lixamento, até tornar-se plana, figura 4.14.

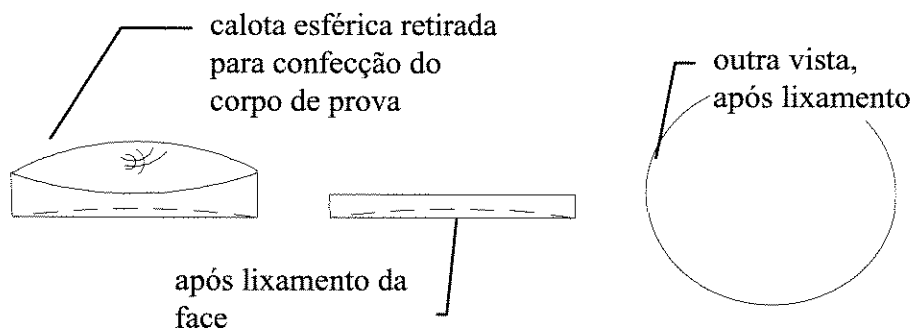


Figura 4.14- Processo de confecção do corpo de prova primeira fase

Segunda Fase. Em seguida desbastou-se através de lixamento, as laterais do corpo de prova, transformando o seu formato circular, em um bastonete de extremidades arredondadas, com laterais paralelas de aproximadamente 4mm largura, figura 4.15.

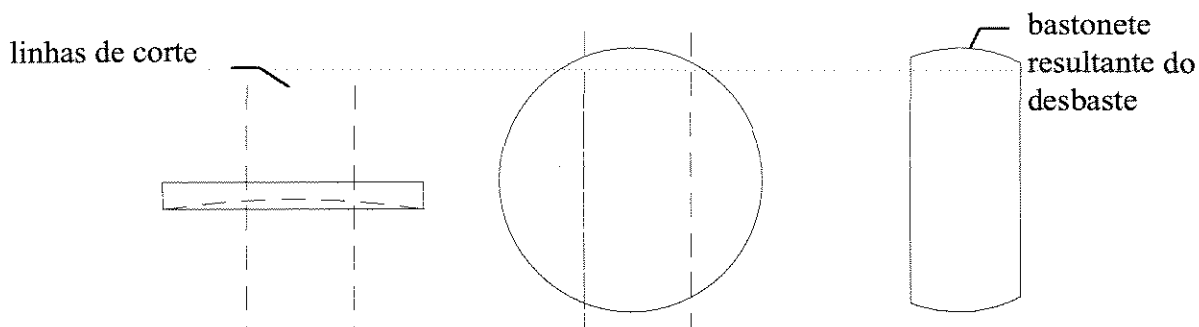


Figura 4.15- Processo de confecção do corpo de prova segunda fase

Terceira fase. Por fim, o bastonete foi fixado em uma canaleta guia, de aço, com 2mm de profundidade, FERRAZ (1987), com a face irregular exposta. Esta face foi desbastada, através de lixamento. Em seguida foram cortadas as extremidades, deixando os corpos de prova com dimensões de aproximadamente, 4x4x2mm, figura 4.16.

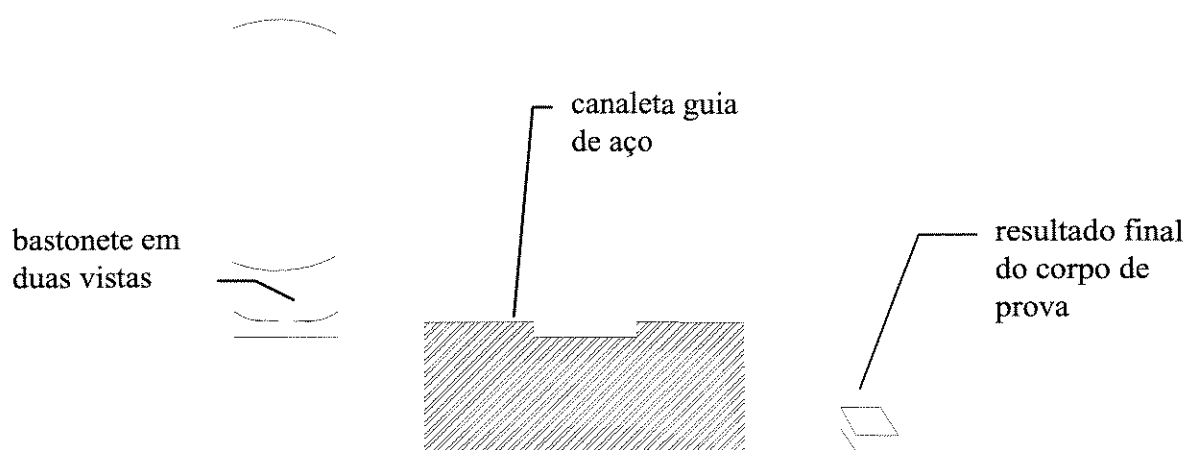


Figura 4.16- Processo de confecção do corpo de prova terceira fase.

Os corpos de prova assim confeccionados, foram ensaiados uniaxialmente, entre pratos planos e paralelos, a uma taxa de deformação constante de 0,29mm/min.

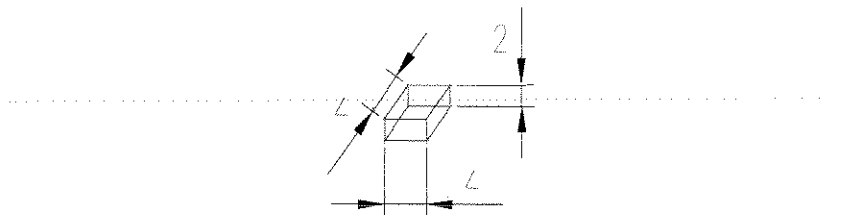


Figura 4.17- Corpo de prova extraído da casca da noz (medidas em milímetros).

4.2.4.1.3. Ensaio de compressão em nozes macadâmias inteiras.

As nozes inteiras também foram ensaiadas, com o objetivo de se obter o módulo de elasticidade aparente. As nozes foram primeiramente selecionadas por faixa de tamanho e medidas, uma a uma, em três direções diferentes, variando de 90° entre cada medida. Uma das direções foi a do ápice-inseção. Essas foram comprimidas entre pratos planos e paralelos, na direção do ápice-inseção, e a 90° desta, aplicando-se uma taxa de deformação constante de 0,29mm/s.

4.3. Comparação Estatística.

A análise estatística do experimento, foi realizada através da utilização do SAS (Institute Inc. Proprietary Software Release 6.04, Licensed to UNICAMP). Os fatores de variação do experimento foram, as faixas de tamanho (18-20, 20-22, 22-24, 24-acima), as duas direções de aplicação da carga (direção ápice-inseção e a 90° desta direção), e as 7 ferramentas figura 4.18. Para comparação das médias, utilizou-se o teste Tukey, segundo recomenda GOMES (1978).

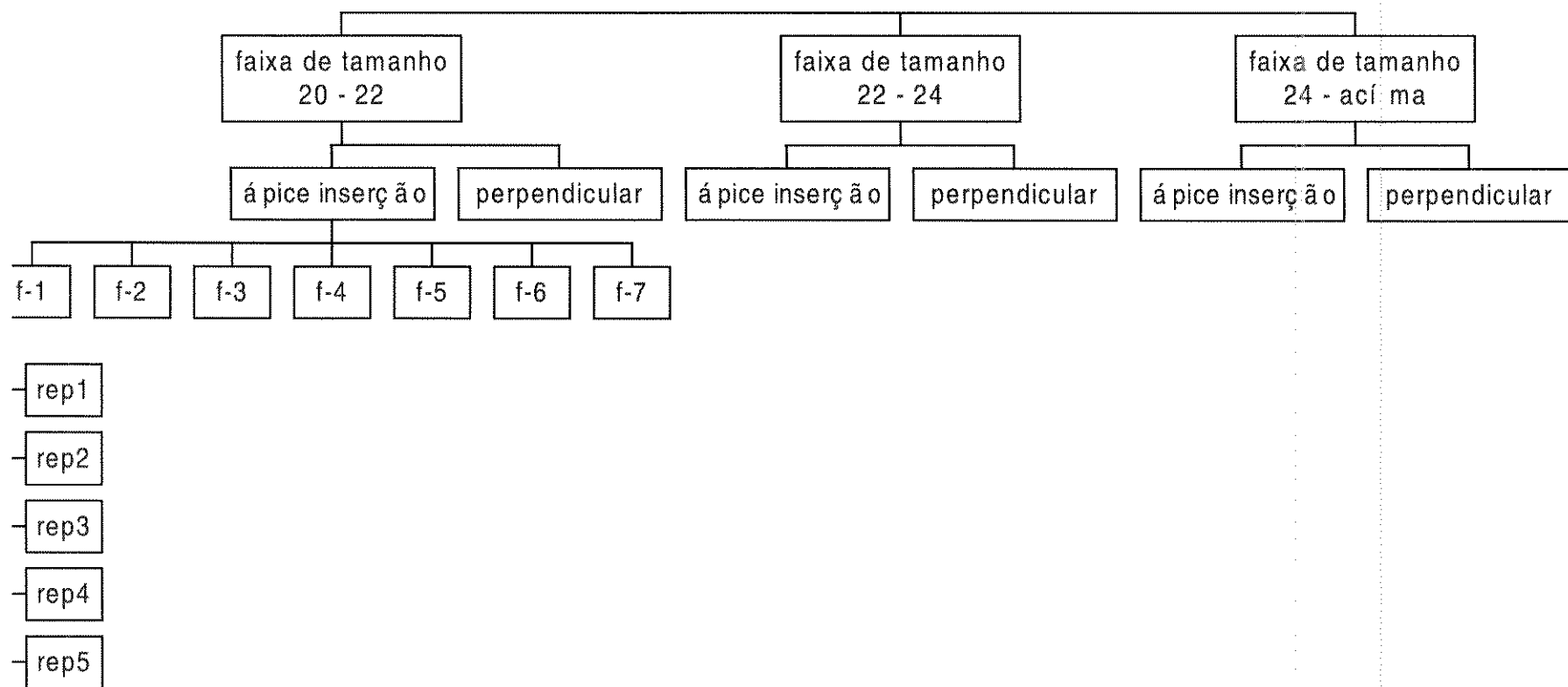


Figura 4.18 - Fluxograma de ensaio do experimento.

5.Resultados e Discussão

O resultado dos tratamentos referentes a força máxima de ruptura, noz com amêndoa retida, noz não quebrada, casca em metade, casca em pedaço, amêndoa inteira, amêndoa em metade, amêndoa em pedaço, amêndoa retida, são mostrados no quadro do anexo.

5.1. Secagem

O processo de secagem ao qual foi submetido o material, reduziu o teor de umidade inicial das nozes inteiras de 9,3%b.u para 2,33%b.u, e o das amêndoas de 3,3%b.u. para 0,95% b.u. O tempo médio decorrido para atingir estes níveis de teor de umidade, foi de 64 horas.

5.2. Caracterização de tamanho da noz macadâmia

As nozes utilizadas apresentaram dimensões médias nas direções ápice-inserção e em outras duas direções perpendiculares de 23,13mm, 23,63mm e 23,66mm, respectivamente, tendo portanto um grau de esfericidade de $\phi=0,99$. Apresentaram também um densidade aparente de $701,8 \text{ g/mm}^3$

5.3. Ensaios dinâmicos

5.3.1. Sistema de Aquisição.

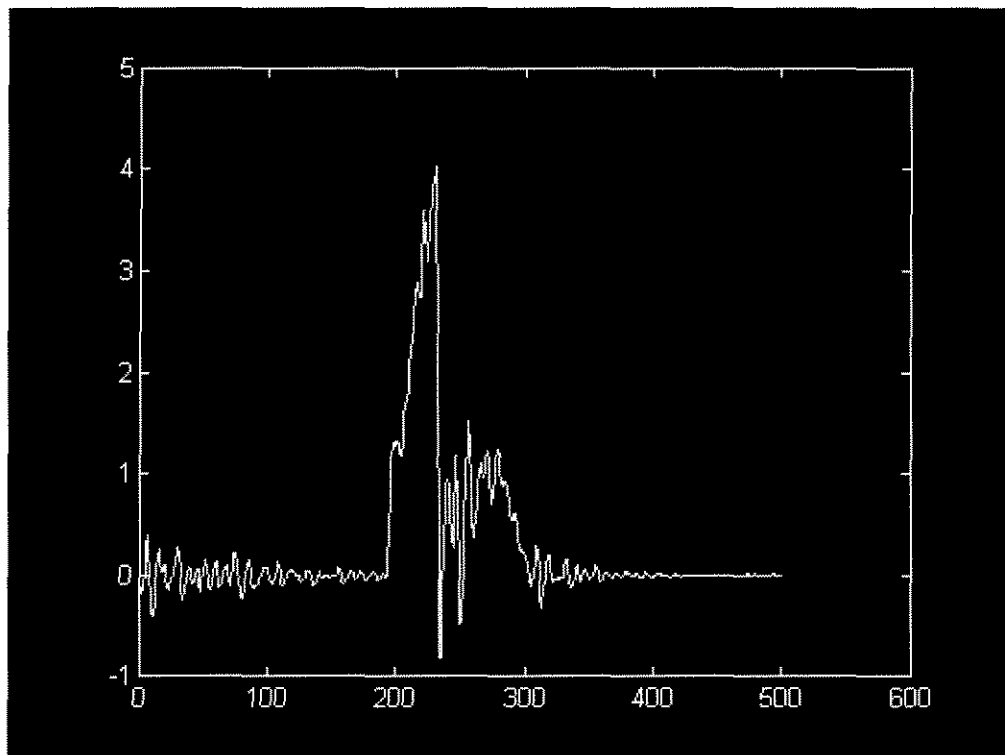


Figura 5.1- Gráfico força X tempo na quebra por impacto.

O sistema quebrador desenvolvido para realização dos ensaios dinâmicos, mostrou-se apropriado para realização do ensaio. Haja visto que, após o alinhamento do sistema e fixação do anel guia, o sistema permaneceu inalterado durante a realização do experimento. A figura 5.1 ilustra as relações características da variação da força (ordenada) com o tempo (abscissa) durante o processo de impacto.

Os ensaios foram inicialmente idealizados para contemplarem 4 faixas de diâmetro, 18-20 mm, 20-22 mm, 22-24 mm, e maiores que 24 mm. Para faixa de diâmetro de 18-20

mm, não se obteve suficiente número de nozes, não permitindo que o ensaio fosse levado a cabo.

O subgrupo lasca não foi caracterizado, pois apresentou resultados abaixo de 1% do total da massa, considerado muito pequeno, sendo então adicionado ao subgrupo pedaços, tanto para as cascas, quanto para as amêndoas.

5.3.2. Influência da Direção na Aplicação da Carga de Impacto

O comportamento anisotrópico da noz foi estudado considerando duas direções específicas, a direção ápice-inserção e uma direção perpendicular a essa, através dos níveis máximos de força registrados durante os ensaios dinâmicos.

Os resultados médios, obtidos de força máxima de ruptura para todas as nozes, ferramentas e tamanhos ensaiados, nas direções consideradas são 2.256,01N, para a direção ápice-inserção e de 3.162,06N, para a direção perpendicular. Esses valores médios são diferentes, para um nível de 5% de significância, isto é mostrado na Quadro 5.1.

Quadro 5.1-Teste de Tukey relacionando força e direção de aplicação de carga

Grupo Tukey	Médias	Repetições	DIR
A	322.33	105	2
B	229.97	105	1

Obs: o número 2 indica direção de aplicação de carga a 90° da direção ápice-inserção, e o número 1 indica direção de aplicação da carga a direção ápice - inserção.

Com relação as nozes com amêndoas retidas, as duas direções ensaiadas tiveram diferença a nível de 5% de significância, sendo que, a direção ápice-inserção foi a que obteve a maior média de nozes quebradas com amêndoa retida 3,4%, referentes a massa

total. A direção perpendicular a direção ápice-inserção, obteve 1,8%, **referente a massa total**, Quadro5.2.

Quadro5.2- Teste de Tukey relacionando noz com amêndoa retida

Grupo Tukey	Médias	Repetições	DIR
A	3.42	105	1
B	1.80	105	2

Obs: o número 2 indica direção de aplicação de carga a 90° da direção ápice-inserção, e o número 1 indica direção de aplicação da carga a direção ápice - inserção.

Os resultados, foram analisados em relação as ferramentas, isoladamente dentro de cada uma das direções de aplicação da carga de impacto

Os resultados mostram que as ferramentas 5 e 6, são as que obtiveram as maiores médias de forças máximas de ruptura, respectivamente 2.946,92 N e 2.692,55 N. As demais ferramentas não diferenciaram entre si, ao nível de 5% de significância, isto para a direção ápice-inserção.

Para a direção perpendicular ao ápice-inserção, as ferramentas com as maiores médias de força máxima de ruptura, foram as ferramentas 6 (3.092.5 N), 1 (3.272,62 N), 2 (3.467,93 N) e 7 (3.493.63 N). Dessas as ferramentas 1 e 6 não diferenciaram-se a nível de 5% de significância das ferramentas 5 (2.999,21 N), 3 (2.920,34 N) e 4 (2.888,16 N).

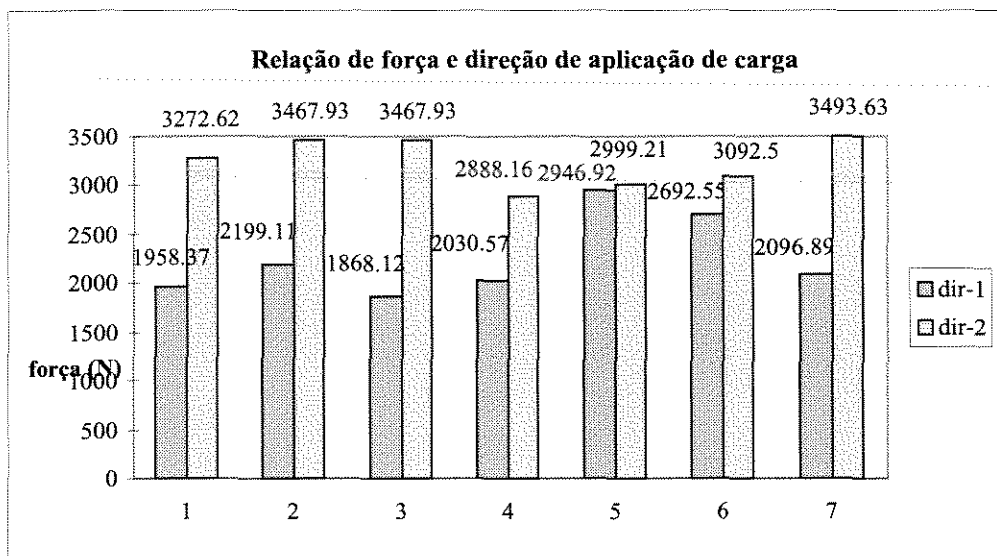


Figura 5.2 - Comparação entre as forças aplicadas em direções diferentes (Dir-1-ápice-inserção, Dir-2-perpendicular a direção ápice inserção), para cada ferramenta.

Os resultados evidenciam o anisotropismo da noz, figura 5.2, comparando-se os níveis de força para cada ferramenta em direções diferentes de aplicação de carga.

Portanto pelos resultados, o anisotropismo da casca da noz macadâmia, quanto a níveis de força, deve ser considerado no projeto de quebradores, figura 5.3. Onde os dados são apresentados em ordem decrescente de casca em metade.

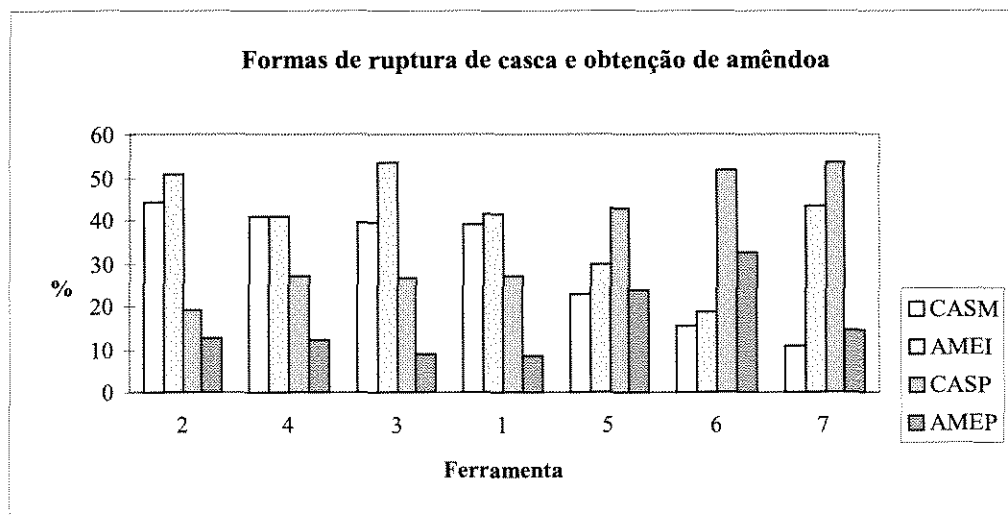


Figura 5.3 - Comparação entre os resultados de cascas e amêndoas, para a direção de aplicação da carga, ápice-inserção. CASM-casca em metade, AMEI-amêndoa inteira, CASP-casca em

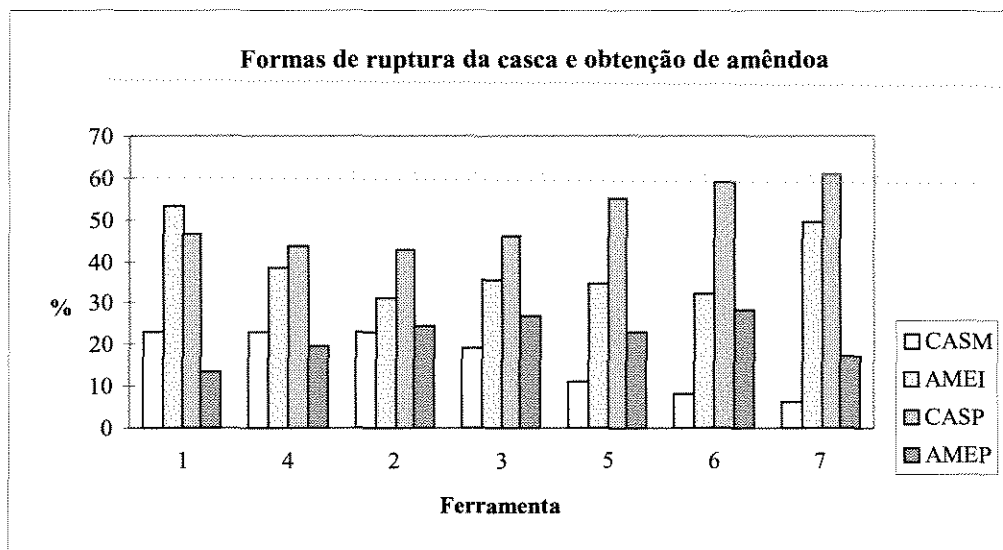


Figura 5.4 - Comparação entre os resultados de cascas e amêndoas, para a direção de aplicação da carga, perpendicular ao ápice-inserção. CASM-casca em metade, AMEI-amêndoa inteira, CASP-casca em pedaço e AMEP-amêndoa em pedaço. Os dados são apresentados em ordem decrescente de casca em metade.

Dos resultados do Quadro 5.3, ilustrados nas figuras 5.3 e 5.4, podemos verificar que a direção ápice-inserção tem uma tendência maior em romper as cascas em metades, do que uma direção perpendicular a ela. Para esta constatação, basta verificar os índices médios de cada ferramentas, com exceção da ferramenta 7, que obteve os baixos índices percentuais de casca em metade em ambas as direções de aplicação de carga.

A direção ápice-inserção obteve, para a maioria das ferramentas, índices quase duas vezes maiores, do que na outra direção, evidenciando ser a direção ápice-inserção, mesmo em ensaios dinâmicos, a direção preferida para quebra.

Quadro 5.3- Resultados de amêndoas e cascas para a direção ápice-inserção

Direção ápice-inserção				
Ferramenta	CASM(%)	AMEI(%)	CASP(%)	AMEP(%)
2	44.16	50.89	18.93	12.43
4	40.81	40.73	26.77	12.05
3	39.36	53.39	26.36	8.89
1	38.94	41.55	26.81	8.48
5	22.93	29.77	42.88	23.77
6	15.31	18.66	51.62	32.55
7	10.73	43.43	53.61	14.65
Direção perpendicular ao ápice-inserção				
Ferramenta	CASM(%)	AMEI(%)	CASP(%)	AMEP(%)
1	23.12	53.17	46.36	13.22
4	22.99	38.45	43.57	19.6
2	22.99	31.34	42.87	24.53
3	19.36	35.28	46.23	26.84
5	11.21	34.63	55.09	23.06
6	8.2	32.17	58.79	28.18
7	6.29	49.3	60.67	17.09

Obs: CASM- casca em metade, AMEI- amêndoa inteira, CASP - casca em pedaço, AMEP - amêndoa em pedaço

As ferramentas 1, 2, 3 e 4, foram as que obtiveram os melhores índices percentuais para as duas direções de aplicação de carga, em termos de obtenção de casca em metade, não havendo diferença a nível de 5% de significância, em ambas as direções. A ferramenta 1 mostrou melhor desempenho numa direção perpendicular ao ápice-inserção, ou seja, a direção desfavorável à quebra, conforme mostram os Quadros 5.4 e 5.5.

Quadro 5.4- Teste Tukey relacionando ferramenta e casca em metade na direção ápice inserção.

Grupo Tukey		Média	N	FERR
A	A	23.120	15	1
	A	22.993	15	4
	A	22.987	15	2
	A	19.360	15	3
	A	11.207	15	5
B	C	8.200	15	6
B		6.287	15	7
B				
B				

Quadro 5.5- Teste Tukey relacionando ferramenta e casca em metade na direção perpendicular ao ápice inserção.

Grupo Tukey		Média	N	FERR
A	A	44.160	15	2
	A	40.807	15	4
	A	39.360	15	3
	A	38.940	15	1
	B	22.927	15	5
	B	15.313	15	6
C	C	10.727	15	7
C				

As cascas tiveram 30,3% da massa total rompidas em metades, quando a carga de impacto foi aplicada na direção ápice-inserção. Somente 16,3%, da massa total, rompem desta forma, na outra direção. A nível de 5% de significância, houve diferença entre as médias das porcentagens, **referentes a massa total**, figura 5.5.

Para as cascas que se romperam em pedaços, 35,5%, em relação à **massa total**, ocorreram na direção ápice-inserção. Numa direção perpendicular obteve-se 50,5%, correspondendo a uma diferença significativa, a nível de 5%, figura 5.5.

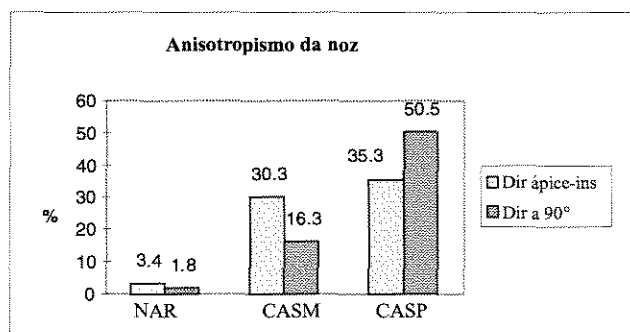


Figura 5.5- Anisotropismo da noz macadâmia. (NAR-noz com amêndoa retida, CASM-casca em metade, CASP-casca em pedaço)

As amêndoas retidas, isto é, as que não se liberaram da casca no processo de quebra, e tiveram de ser liberadas por processo manual. A quantidade de amêndoa retida diferencia-se estatisticamente, a nível de 5% de confiança (figura 5.5), para as cargas duas nas direções consideradas diferentes. A direção que proporcionou a maior média de amêndoas retidas, foi a do ápice-inserção, tendo 3,8% do total da massa das amêndoas, retidas nas cascas. Enquanto que somente 1,9% da massa total das amêndoas ficaram retidas nas cascas quando a carga foi aplicada numa direção perpendicular.

A direção que teve a maior média de amêndoas inteiras, foi a direção do ápice-inserção, porém não se diferenciando, a nível de 5% de significância, da outra direção. Os resultados médios referentes a massa total das amêndoas, respectivamente são 39,8% e 39,2%, figura 5.6.

Os resultados de amêndoas em metades, também não apresentaram diferença a nível de 5% de significância, tendo 40,3% e 36,8% da massa total das amêndoas, respectivas as direções, ápice-inserção e a 90° desta direção.

Para as amêndoas classificadas em pedaços, a direção perpendicular a do ápice-inserção, foi a que obteve a maior média da massa total de amêndoas 21,8%, e a direção ápice-inserção 16,2%, sendo diferentes a nível de 5% de significância, figura 5.6.

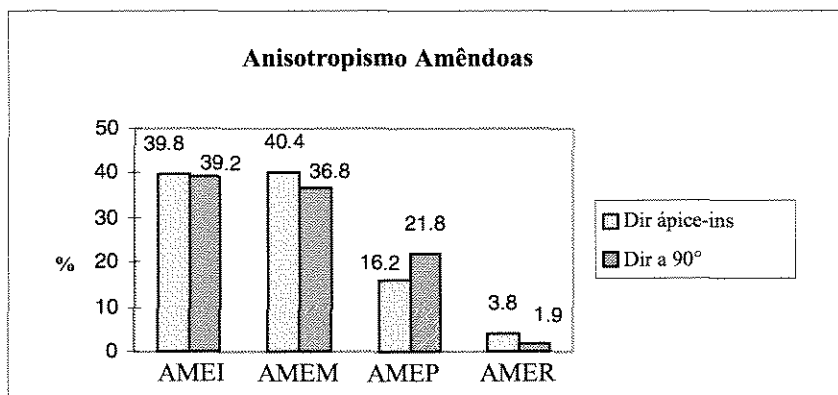


Figura 5.6- Anisotropismo em relação ao rendimento das amêndoas. (AMEI- amêndoas inteiras, AMEM-amêndoas em metades, AMEP - amêndoas em pedaços, AMER - amêndoas retidas)

Considerando o subgrupo amêndoa em metade, na direção ápice inserção as ferramentas 6 e 1, foram as que obtiveram os maiores valores médios, a ferramenta 2 foi a que obteve índices médios mais baixos. As demais ferramentas 4, 5, e 7, com valores médios intermediários, não apresentaram diferença entre si. Na direção perpendicular ao

ápice-inserção, não houve diferença a nível de 5% de significância, entre nenhuma ferramenta.

No subgrupo noz com amêndoa retida não houve diferença significativa, a nível de 5%, entre as ferramentas em ambas as direções.

As duas direções estudadas apresentaram características diferentes, pois o impacto na direção ápice-inserção têm uma tendência maior em dividir a casca em metades, fato esse, que na análise geral dos resultados indica que esse tipo de quebra, tende a preservar as amêndoas com uma maior porcentagem de amêndoas inteiras e metades. Enquanto que para uma direção perpendicular a do ápice-inserção, existe uma tendência maior em fracionar a casca, que pelos resultados apresenta uma porcentagem maior de amêndoas fracionadas, figuras 5.3 e 5.4.

Todas as ferramentas testadas mostraram que o impacto tende a minimizar o efeito anisotrópico apresentado pela noz. Isso fica evidenciado pelos resultados mostrados na figura 5.6, onde a porcentagem de amêndoas inteiras e amêndoas em metades são semelhantes para ambas direções.

Quando o impacto é associado aos indentes, gerando tensões concentradas, os índices tendem a aumentar, minimizando as perdas com amêndoas retidas e fracionadas, quando comparados à outros quebradores, figura 5.13.

Há uma tendência de se obter índices maiores de amêndoas inteiras, numa correlação entre amêndoa inteira e casca em metade. Esta correlação ilustrada através da figura 5.7, onde uma simples regressão linear representa 83,4% dos dados, e com um ajuste de curva polinomial de terceira ordem, representa 94,8% do dados, ilustrado pela figura 5.8.

Como também amêndoa em pedaço e casca em pedaço estabelecem uma correlação entre si, tendo 84,7% dos dados representados por uma regressão linear e 94,2% por um ajuste de curva polinomial de terceira ordem, como ilustra a figura 5.8.

Portanto as ferramentas indentadas tendem a obter índices mais elevados de amêndoas inteiras, quanto mais alto for o índice de cascas fracionadas em metades.

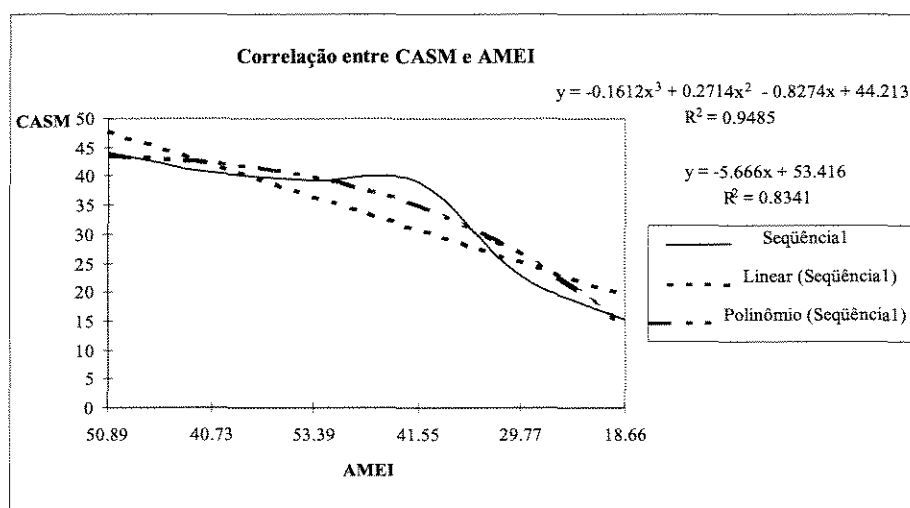


Figura 5.7- Correlação entre casca em metade e amêndoa inteira. CASM-casca em metade, AMEI-amêndoa inteira.

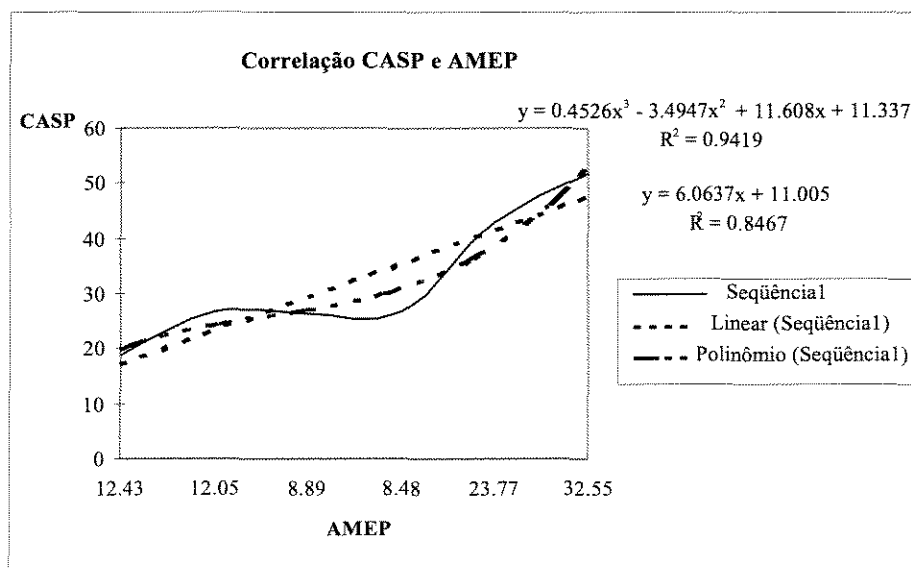


Figura 5.8- Correlação entre casca em pedaço e amêndoa pedaço. CASP-casca em pedaço,

5.3.3. Influência do tamanho da noz (faixa de diâmetro).

Em termos de faixa de diâmetro, as médias das forças máxima de ruptura, para nozes macadâmia, na faixa de diâmetro maiores que 24mm, foram de 2.832,24N (288.71 kgf). Para a faixa de diâmetro de 22-24 mm, 2.671,66N (272.33 kgf), e para a faixa de diâmetro de 20-22 mm, 2.623,39N (267.42 kgf). Os resultados das médias das forças máxima de ruptura, para as faixas de diâmetro de 20-22mm e 22-24mm não apresentaram diferença estatística a nível de 5% de significância. A faixa de diâmetro de nozes maiores que 24 mm apresentaram a maior média de força máxima de ruptura, com uma diferença, a nível de 5% de significância das demais, como ilustra o Quadro 5.6.

Quadro 5.6- Teste de Tukey relacionando força e tamanho

Grupo Tukey	Médias	Repetições	TAM
A	288.714	70	2
B	272.329	70	3
B			
B	267.419	70	1

Obs: O número 2, indica diâmetro de nozes acima de 24mm, o número 3, diâmetro de nozes de 20-22mm e o número 1, diâmetro de nozes 22-24mm

Na análise dos resultados para cada ferramenta, em relação à força e faixa de tamanho, foi constatado que para a faixa de diâmetro de 20-22 e 22-24mm não houve diferença a nível de 5% de significância entre as ferramentas, conforme mostra os Quadros 5.8 e 5.9. As maiores médias em cada uma dessas faixas de diâmetro foram registradas pelas ferramentas, 7 com 2.427,68 N, e pela ferramenta 2 com 2888.65 N. A ferramenta 3 com 2.310,16 N, para a faixa de 20-22 mm, e 2.522,93 N, para 22-24 mm, apresentou as menores médias.

Para a faixa de diâmetro de nozes acima de 24mm, as ferramentas tiveram seus resultados divididos estatisticamente em 3 grupos, como mostra o Quadro 5.7, não apresentando diferença a nível de 5% de significância entre as ferramentas 2, 7, 5 e 6. As ferramentas 6, 7 e 2 não se diferenciaram, ao mesmo nível de significância das ferramentas 1 e 4. A ferramenta 3 obteve os melhores índices de força.

Quadro 5.7- Teste de Tukey relacionando níveis de força, dentro da faixa de diâmetro de nozes acima de 24mm.

Grupo Tukey			Médias	N	FERR
B	A		3.471,46	10	5
	A				
	A		3.175,79	10	6
	A				
	A	C	3.023,64	10	7
	A	C			
	A	C	2.908,08	10	2
	C				
	C		2.456,32	10	1
	C				
	C		2.441,12	10	4
	C				
	C		2.349,59	10	3

Obs: os níveis de força são dados em (N).

Para as nozes que quebraram retendo as amêndoas, analisadas em relação a faixa de diâmetro, houve diferença estatística a nível de 5% de significância, da faixa de diâmetro de nozes de 22-24 mm, tendo a maior média de nozes com amêndoas retidas, 3,9% referentes a massa total das nozes. Para a faixa de diâmetro de nozes acima de 24 mm, 1,7% da massa total das nozes, foram de nozes com amêndoas retidas. A faixa de diâmetro de 20-22 mm, teve um valor intermediário, 2,2% de nozes que quebraram retendo as amêndoas. Não houve diferença estatisticamente significativa, a nível de 5%, para a faixa

de diâmetro de 22-24 mm, nem para faixa de diâmetro de nozes acima de 24 mm, Quadro 5.8.

Quadro 5.8 - Teste de Tukey relacionando níveis de força, dentro da faixa de diâmetro de nozes 22-24mm

Grupo Tukey	Médias	N	FERR
A	2.712,17	10	7
A			
A	2.703,83	10	2
A			
A	2.694,41	10	6
A			
A	2.585,03	10	4
A			
A	2.580,52	10	5
A			
A	2.564,73	10	1
A			
A	2.522,93	10	3

Quadro 5.9 - Teste de Tukey relacionando níveis de força, dentro da faixa de diâmetro de nozes acima de 20-22mm

Grupo Tukey	Médias	N	FERR
A	2.888,65	10	2
A			
A	2.867,27	10	5
A			
A	2.825,38	10	1
A			
A	2.807,33	10	6
A			
A	2.650,07	10	7
A			
A	2.351,95	10	4
A			
A	2.310,57	10	3

Obs: os níveis dos Quadros 5.8 e 5.9 as força são dadas em (N).

Para todas as ferramentas ensaiadas, as cascas romperam-se em metades, sem apresentar diferença estatística a nível de 5% de significância, entre as faixas de diâmetro. A

faixa de diâmetro de nozes acima de 24 mm, foi a que teve a maior média 24,2%, a faixa de diâmetro de 20-22 mm, teve 23,2% e a faixa de 22-24 mm, 22,5%, estas médias referentes a massa total das nozes.

Quanto às cascas das nozes que se romperam em pedaços, também não houve diferença estatística a nível de 5% de significância, em relação as faixas de diâmetro. A faixa de diâmetro de 20-22 mm teve a maior média, com 43,6%, a faixa de 22-24 mm 43,1% e a faixa acima de 24 mm 42%. As médias são expressas em termos de massa total das nozes.

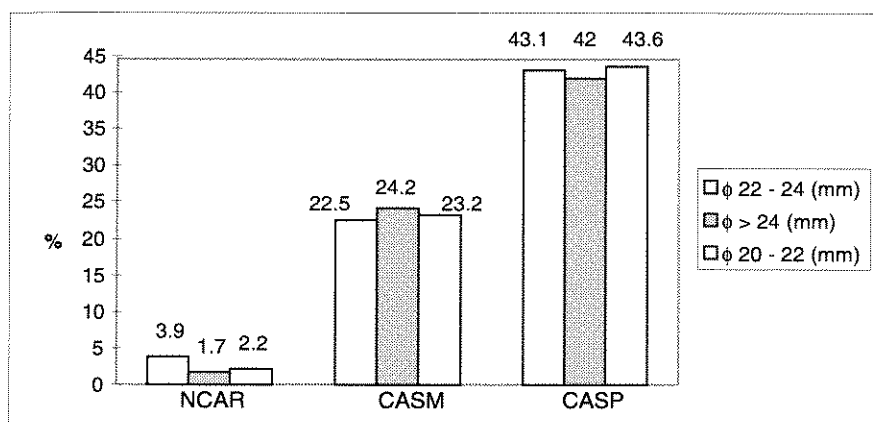


Figura 5.9- Relação faixa de diâmetro e resultado da ruptura da casca. (NCAR- noz com amêndoa retida, CASM - casca em metade, CASP - casca em pedaço).

As nozes com as amêndoas retidas tiveram diferença estatística a nível de 5% significância entre as faixas de diâmetro 22-24 mm e acima de 24 mm, tendo as respectivas médias 4,2% e 2%, referentes a massa total de amêndoas. A faixa de diâmetro de 20-22 mm, não teve diferença significativa a nível de 5%, para nenhuma das outras duas faixas de diâmetro, com uma média de 2,3%, referente a massa total de amêndoas, como ilustra a figura 5.9.

As amêndoas inteiras não apresentaram diferença estatística, a nível de 5% de significância entre as faixas de diâmetro. Foram obtidas em ordem decrescente, as seguintes médias 41,2% para a faixa de diâmetro de 22-24 mm, 39% para a faixa de diâmetro de 20-22 mm e 38,3% para a faixa de diâmetro acima de 24 mm. Essas porcentagens se referem à massa total de amêndoas.

O subgrupo amêndoa em metade também não apresentou diferença significativa, a nível de 5% de significância, entre as faixas de tamanho. Tendo como média, em ordem decrescente, 39,8% para a faixa de diâmetro 20-22 mm, 38,1% para a faixa de 22-24 mm e de 37,8% para nozes de diâmetro acima de 24 mm. Essas médias se referem à massa total de amêndoas.

As amêndoas em pedaços não tiveram diferença significativa, a nível de 5%. As médias em ordem decrescente são apresentadas, 19,2% para a faixa de diâmetro 22-24 mm, 18,9% para a fixa de diâmetro de 20-22 mm e 18,9% para a faixa de diâmetro acima de 24 mm. Essas médias se referem à massa total de amêndoas, figura 5.10.

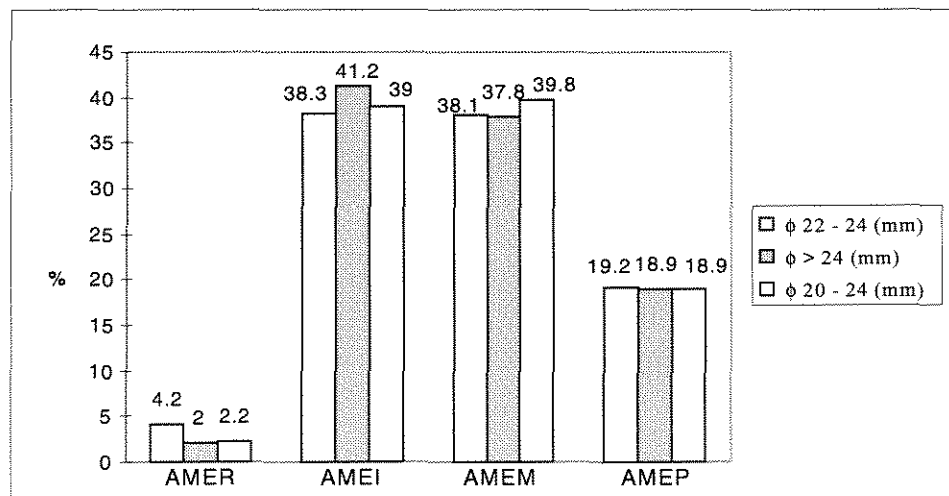


Figura 5.10-Relação entre as faixas de diâmetro e rendimento das amêndoas. (AMEI- amêndoas inteiras, AMEM-amêndoas em metades, AMEP - amêndoas em pedaços, AMER - amêndoas retidas)

Analisando-se as faixas de tamanho com relação as ferramentas na obtenção de amêndoas inteiras, a faixa de diâmetro de nozes acima de 24 mm, não houve diferença a nível de 5% de significância, entre nenhuma ferramenta. A faixa de 22-24 mm de diâmetro, dividiu-se estatisticamente em 4 grupos, conforme mostra o Quadro 5.10.

Quadro 5.10- Teste de Tukey para a faixa de diâmetro de 22-24mm em relação a amêndoas inteiras.

Grupo Tukey			Mean	N	FERR
	A		62.540	10	1
	A				
B	A		50.460	10	3
B	A				
B	A	C	44.110	10	7
B		C			
B	D	C	36.730	10	4
B	D	C			
B	D	C	33.320	10	2
	D	C			
	D	C	22.690	10	5
	D				
	D		17.940	10	6

A ferramenta 1 obteve os maiores índices médios de amêndoas inteiras e a ferramenta 6 os índices mais baixos.

Na faixa de diâmetro de 20-22 mm a ferramenta que obteve a mais alta média de amêndoas inteiras, foi a ferramenta 7, diferenciando-se da ferramenta 6 a nível de 5% de significância, que obteve a média mais baixa, não se diferenciando a este nível de significância das demais.

Em relação ao subgrupo amêndoa em metade, as faixas de diâmetro de nozes, acima de 24 mm e de 22-24 mm, não apresentaram diferença a nível de 5% de

significância, entre nenhuma ferramenta, somente apresentando diferença entre as ferramentas 1 e 7, na faixa de diâmetro de 20-22 mm, sendo a maior e menor médias, de amêndoa em metade, respectivamente.

No subgrupo amêndoa em pedaço, a faixa de tamanho de 20-22mm não apresentou diferença a nível de 5% de significância entre as ferramentas. Na faixa de diâmetro de acima de 24 mm houve diferença a 5% de significância, somente entre as ferramentas 6 e 1, que tiveram a maior e menor médias, respectivamente.

Na faixa de 22-24 mm, não houve diferença entre as ferramentas 5 e 6, que obtiveram as maiores médias, a 5% de significância. A ferramenta 7, que não se diferenciou da ferramenta 1 a nível de 5% de significância, que obteve a pior média.

O subgrupo amêndoa retida, não apresentou diferença, a nível de 5% de significância, para a faixa de diâmetro de nozes acima de 24 mm. Para a faixa de 20-24mm, somente a ferramenta 7, se diferenciou das demais, com a maior média, a nível de 5% de significância, e, para a faixa de 22-24 mm as ferramentas 2, 4 e 3 não diferenciaram -se entre si, com as melhores médias, respectivamente. As ferramentas 4 e 3 não se diferenciaram das demais.

No processo de seleção é importante ressaltar, que o sistema seleciona as nozes através de uma única dimensão, podendo portanto, a noz ter em outras direções, dimensões superiores ou inferiores da faixa classificada.

Os resultados mostram que para a faixa de diâmetro de nozes acima de 24 mm, os indentes das ferramentas 1, 4, 3, com um e dois pares de indentes, exigiram níveis mais inferiores de força para a ruptura.

A ferramenta 2 com um indente, foi uma das ferramentas com níveis de força mais elevados de força, onde supõe-se que a pequenina ponta do indente, com uma angulação de 45°, penetrou na noz sem rompê-la, atuando portanto uma força de atrito adicional a de impacto.

5.3.4. Comparação entre as 7 ferramentas utilizadas.

Da análise das médias das forças máximas de ruptura, as ferramentas apresentaram uma divisão estatística em três grupos. As ferramentas 5, 6, 2 e 7, foram as que apresentaram as maiores médias de máxima força de ruptura, não tendo diferença estatística a nível de 5% de significância, entre elas. Suas médias de máxima força de ruptura foram, respectivamente da maior a menor entre elas, 5 (2.973,11 N), 6 (2.892,48 N), 2 (2.833,2 N), 7(2.795,26 N). O grupo de valores médios intermediários de máxima força de ruptura, que não apresentaram diferença estatística a nível de 5% de significância, é composto das ferramenta 2, 7, 1, onde as médias das ferramentas 2 e 7, já foram apresentadas, e a da ferramenta 1 (2.6155,44N). E o grupo que forma o de menor média, de máxima força de ruptura, à nível de 5% de significância, é composto pelas ferramentas 1, 4, 3. Tendo como médias, de máxima força de ruptura, para as ferramentas 4 (2.459,37N), 3 (2.394,23N) e a da ferramenta 1, como ilustra a figura 5.11.

Quadro 5.11-Teste de Tukey para força máxima de ruptura. (unidade das forcas kgf)

GrupoTukey		Médias	Repetições	FERR
A	A	303.067	30	5
	A			
	A	294.853	30	6
	A			
B	A	288.840	30	2
B	A			
B	A	284.943	30	7
B	A			
B	C	266.613	30	1
	C			
	C	250.700	30	4
	C			
	C	244.060	30	3

Obs: os números de 1 a 7 representam as ferramentas

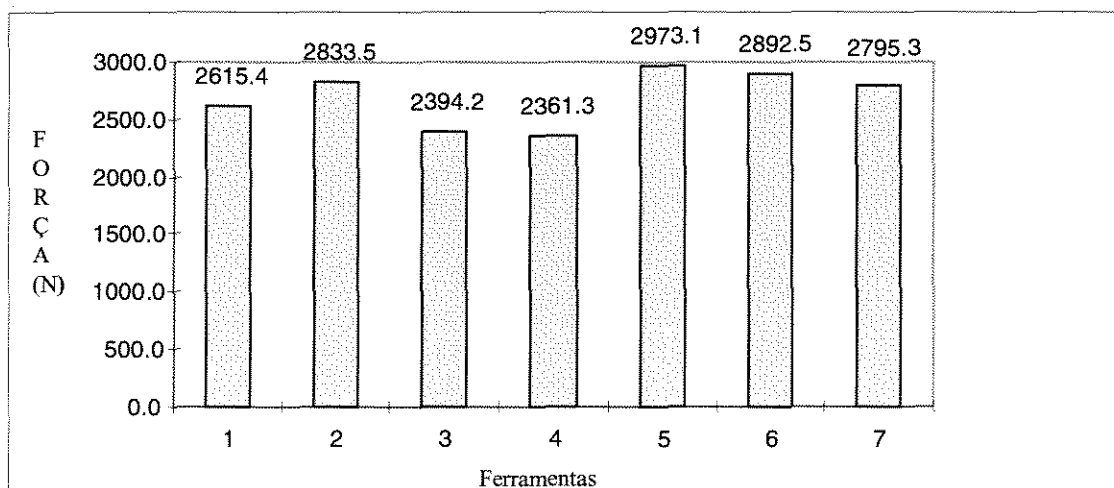


Figura 5.11- Relação força e ferramentas

O subgrupo noz com amêndoa retida, as ferramentas 2, 7, 3, 4, 1, não diferenciaram entre si a nível de 5% de significância. Apesar das ferramentas 7, 3, 4 e 1 não apresentarem diferença significativa a nível de 5% da ferramenta 5, esta diferenciou da ferramenta 2, a nível de 5% de significancia. Não se diferenciando também da ferramenta 6, quais também não se diferenciaram das ferramentas 3, 4 e 1, a nível de 5%. de significância. Portanto em ordem decrescente as médias de nozes com amêndoas retidas em relação a massa total foi, ferramenta 2 (5%), ferramenta 7 (4,7%), ferramenta 3 (2,6%), ferramenta 4 (2,5%), ferramenta 1 (2,4%), ferramenta 5 (0,9%) e ferramenta 6 (0,2%), figura 5.12.

A categoria casca em metade não apresentou diferença significativa a nível de 5%, entre as ferramentas 2, 4, 1 e 3, se diferenciando, estatisticamente, do grupo formado pelas ferramentas 5 e 6, que não diferenciaram entre si, a nível de significância de 5%. A ferramenta 6 não diferenciou da ferramenta 7 que diferenciou da ferramenta 5, a nível de 5% de significância. Em ordem decrescente as médias em relação a massa total, com suas respectivas ferramentas, 2 (33,6%), 4 (31,9%), 1 (31%), 3 (29,4%), 5 (17,1%), 6 (11,8%), 7 (8,5%), figura 5.12.

No subgrupo casca em pedaço as ferramentas 7 e 6 não tiveram diferença significativa, a nível de 5% de significância, sendo que a ferramenta 6 não se diferenciou da ferramenta 5, que diferenciou da ferramenta 7 a nível de 5% de significância. As demais ferramentas não diferenciaram entre si, a nível de 5% de significância. Essas ferramentas são 1, 3, 4, e a ferramenta 2. Em ordem decrescente das médias, relativas a massa total, com

sua respectivas ferramentas, 7 (57,1%), 6 (55,2%), 5 (49%), 1 (36,6%), 3 (36,3%), 4 (35,2%) e 2 (30,9%).

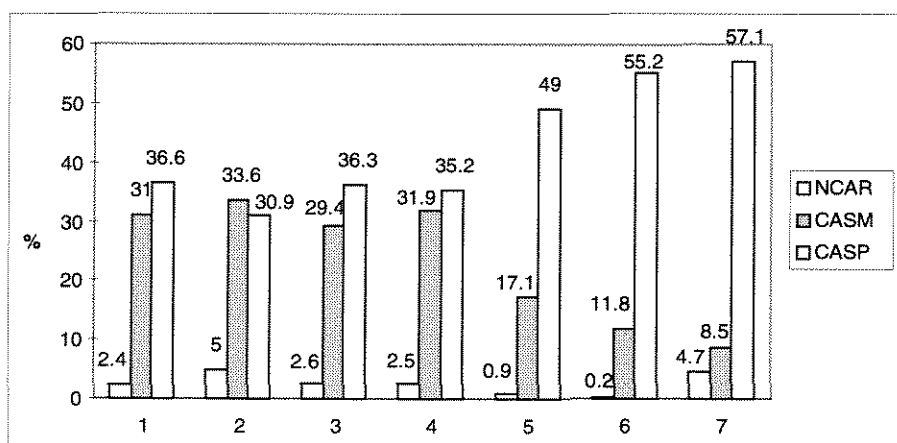


Figura 5.12- Relação ferramentas e forma de ruptura da casca. (NCAR-noz com amêndoa retida, CASM-casca em metade, CASP-casca em pedaço)

Para o subgrupo amêndoa retida, as ferramentas 2, 7, 4, 1, 3 e a 5, não se diferenciaram entre si, a nível de 5% de significância, sendo que destas ferramentas 4, 1, 3 e a 5 não diferenciaram da ferramenta 6, que diferenciou-se das demais a nível de 5% de significância. Portanto as ferramentas que obtiveram as maiores médias relativas a massa total de amêndoas, foram as ferramentas 2 e 7, e a que teve a menor média, relativa a massa total de amêndoas, foi a ferramenta 6.

Para o subgrupo amêndoas inteiras, as ferramentas 1, 7, 3, 2, 4, não apresentaram diferença a nível de 5% de significância, sendo que as ferramentas 3, 4, 2, também não tiveram diferença significativa, a nível de 5%, da ferramenta 5, que diferenciou-se significativamente, a nível de 5%, das ferramentas 1 e 7. A ferramenta 6 não teve diferença

estatística a nível de 5% da ferramenta 5, mas diferenciou-se das demais, ao mesmo nível de significância. As médias obtidas de amêndoas inteiras, para cada ferramenta é mostrada em ordem decrescente, juntamente com as respectivas ferramentas, 1 (47,4%), 7 (46,4%), 3 (44,3%), 2 (41,1%), 4 (39,6%), 5 (32,2%), 6 (25,4), as porcentagens médias são referidas à **massa total de amêndoas**.

O subgrupo amêndoa em metade não apresentou diferença significativa entre nenhuma das ferramentas, a nível de significância de 5%. As médias em ordem decrescente são mostradas juntamente com as respectivas ferramentas, 6 (44%), 5 (43%), 4 (40,4%), 1 (39,5%), 2 (34,9%), 3 (34,9%), 7 (33,2%). Estas porcentagens médias são **relativas a massa total de amêndoas**.

O subgrupo amêndoas em pedaço, a ferramenta 6 não diferenciou somente da ferramenta 5, a nível de 5% de significância, com a maior média de amêndoas em pedaços, com 30,4%, **relativos a massa total de amêndoas**, não se diferenciando somente da ferramenta 5, a nível de 5% de significância. A ferramenta 5 porém não diferenciou-se das ferramentas 2, 3, 4, 7, a nível de 5% de significância. A ferramenta 7 não diferenciou da ferramenta 1, a nível de 5% de significância, que se diferenciou das demais, com o mesmo nível de significância.

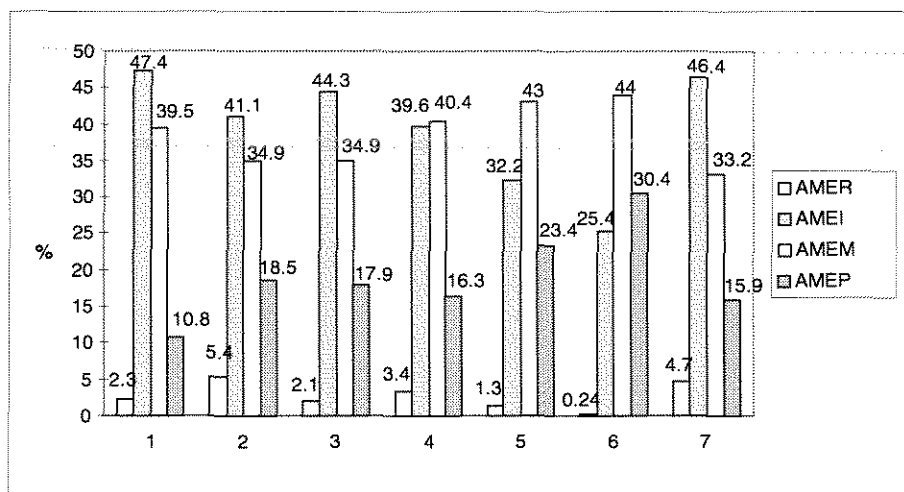


Figura 5.13- Relação ferramentas e rendimento da amêndoas. (AMER - amêndoas retidas, AMEI- amêndoas inteiras, AMEM-amêndoas em metades, AMEP - amêndoas em pedaços)

Os resultados mostram, que as ferramentas com um maior número de indentes exigiram níveis maiores de força para a ruptura, que as demais. Mas estes valores não cresceram com o número de indentes, pois as ferramentas que obtiveram as menores médias de força para o rompimento da casca, foram as ferramentas 3 e 4, com dois indentes cada uma. Isto sugere que as ferramentas (3 e 4), com indentes duplos, têm a relação número de indentes e espaçamento entre eles, ideais para o rompimento da casca da noz, com uma carga mínima.

Para os resultados de nozes com amêndoas retidas, as ferramentas 3, 4, 5 e 6 foram as que tiveram as menores médias, com destaque para as ferramentas 5 e 6, com índices abaixo de 1%. Mas estas mesmas ferramentas, foram as que obtiveram os menores índices de amêndoas inteiras, e os mais altos índices de amêndoas em pedaços. Como também foram as ferramentas que mais fracionaram as cascas em pedaços.

As ferramentas 1, 4 e 3 compostas de um e dois indentes respectivamente, juntamente com a ferramenta 7, tiveram resultados de amêndoas inteiras e metades, acima da média dos dispositivos existente. Com destaque para a ferramenta 1, que obteve, aproximadamente 87% de amêndoas inteiras e em metades. Em termos estatísticos não houve diferença significativa entre os desempenhos dessas ferramentas.

5.3.5. Comparações com princípios de quebra, utilizados em mecanismos quebradores

Em porcentagem média de amêndoas inteiras o princípio da aplicação do impacto associado a tensões concentradas, obteve os mesmos resultados obtidos por outro princípios tais como, deformação até a ruptura, taxa de deformação constante e do cisalhamento associado ao impacto. Mas a vantagem está rendimento de amêndoas em metades, que em média é 22% maior que os outros princípios, e isto somado-se a uniformização de amêndoas inteiras e metades acaba por estabelecer em relação a algumas ferramentas, tais como 2, 5, uma leve vantagem, para uma grande vantagem quando comparados a outras ferramentas, tais como 1, 3 e 4, figura 5.13 .

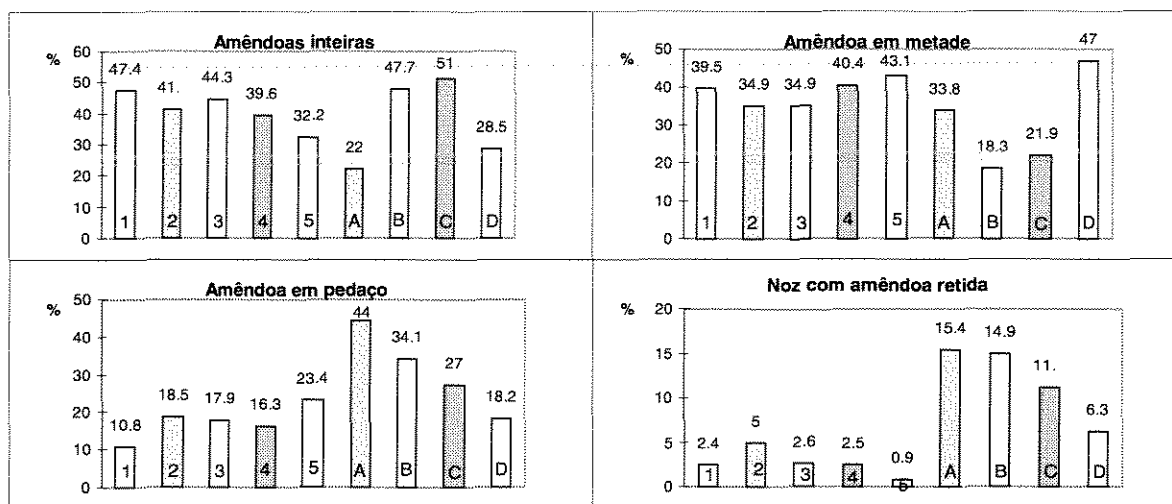


Figura 5.14- Rendimento das ferramentas indentadas com quebradores que utilizam o princípio da deformação até a ruptura, cisalhamento associado ao impacto e taxa de deformação constante. Os números de 1 a 5 referen-se às ferramentas indentadas; a letras maiúsculas referen-se a A* - quebrador de rolo e placa; B* - quebrador de laminas concorrentes industrial; C* - quebrador de laminas concorrentes manual; D - quebrador de êmbolo)**

(*) Quebradores analisados por RODRIGUES et al. (1996)

(**) Quebrador proposto por SARIG et al. (1980)

No quadro acima não estão incluídas as ferramentas 6 e 7, a primeira por ter gerado resultados muito ruins, e a segunda foi ensaiada como referência para o grupo de ferramentas.

Os resultados obtidos pela ferramenta 7, sem indente, foram muito bons em termos de médias de amêndoas inteiras e metades, isto nos leva a concluir que, os mecanismos que utilizam impacto, tendem a obter índices médios de amêndoas inteiras e metades mais altos que os mecanismos que utilizam outros princípios.

A associação do impacto com indentes, objetivando gerar tensões concentradas, tendem a melhorar ainda mais os índices de amêndoas em metades, com menores índices de amêndoas fracionadas e de nozes com amêndoas retidas.

A categoria noz foi idealizada para analisar dois resultados, o de nozes não quebradas e o de nozes com amêndoas retidas. Todas as nozes se quebraram. Este fato talvez possa ser explicado, por ter o experimento sido realizado com nozes individuais, e pelas interferências adequadas.

O número de nozes com amêndoas retidas, em termos de rendimento médio, foi em geral baixo, esse é um dado importante, pois essas nozes terão que ser novamente reprocessadas. As diferenças ficam mais evidentes quando são comparados com os índices de desempenho de quebradores tradicionais, como mostra a figura 5.14.

Uma vantagem adicional do processo de quebra por impacto, associado aos indentes foi que a totalidade (100%) das nozes foram quebradas.

A eficiência do processo fica melhor evidenciada quando se adiciona os resultados dos subgrupos de amêndoa inteira e metade, como mostra a figura 5.15.

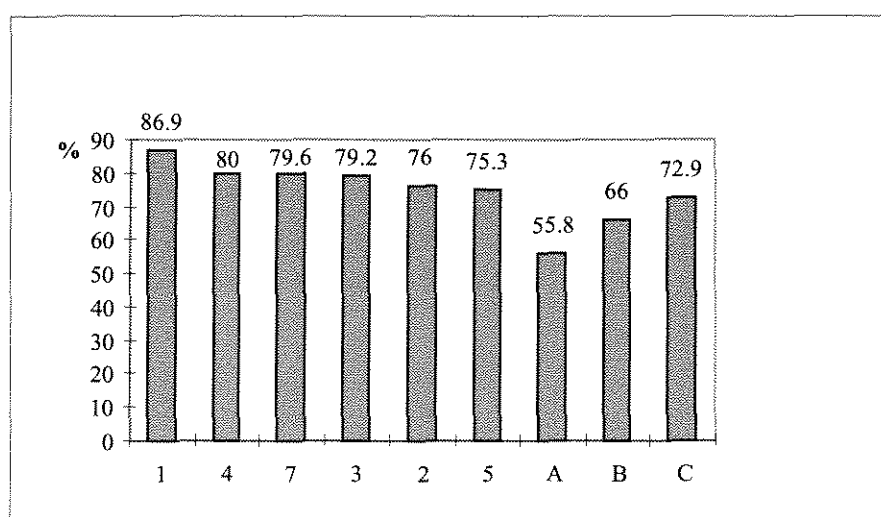


Figura 5.15- Índice de desempenho em termos de amêndoas inteiras e metades somadas.

5.4. Resultados dos ensaios estáticos.

O valor médio do módulo de elasticidade real obtido através dos corpos de provas, extraídos da casca da noz, foi de 485,55 N/mm², como mostra o Quadro 5.12.

Quadro 5.12- Resultados dos ensaios estáticos dos corpos de prova

	L(mm)	L-L ₀ (mm)	D(mm/mm)	A(mm ²)	F(N)	T(N/mm ²)	E(N/mm ²)
	1.77	1.16	0.66	16.27	4312	265.03	401.56
	1.85	1.13	0.61	15.73	4900	311.51	510.67
	1.75	1.22	0.70	13.92	4312	309.77	442.53
	1.88	1.1	0.59	10.22	2254	220.55	376.94
	1.88	1.33	0.71	14.12	4116	291.50	410.56
	2	1.1	0.55	14.24	3675	258.08	469.23
	1.85	1.02	0.55	13.23	3822	288.89	525.25
	1.88	1.19	0.63	12.81	3773	294.54	467.52
	1.5	0.93	0.62	11.14	3724	334.29	539.18
	1.9	1.07	0.56	12.30	4018	326.67	583.34
	1.55	1.04	0.67	13.43	4704	350.26	522.78
	1.7	1.25	0.74	9.92	3430	345.77	467.26
	1.8	1.3	0.72	8.40	3430	408.33	565.38
	1.8	1.19	0.66	10.08	3430	340.28	515.57
Média	1.79	1.15	0.64	12.56	3850.00	310.39	485.55
D.P.	0.14	0.11	0.06	2.32	649.69	46.49	62.36
C.V.	0.08	0.10	0.10	0.19	0.17	0.15	0.13

L-altura do corpo de prova, L-L₀ - deformação sofrida pelo corpo de prova, D - deformação específica
A - área do corpo de prova, F- força, T - tensão, E - módulo de elasticidade , D.P. - desvio padrão, C.V.
coeficiente de variação.

O ponto de ruptura da casca nos ensaios estáticos realizados, ocorreu quando houve uma queda abrupta no valor da força, mostrado nas figuras 5.16 e 5.17.

O ensaio de compressão da noz na direção y, foram realizados somente até o ponto de ruptura da estrutura da noz. Obtendo os resultados mostrados no Quadro 5.14.

Quadro 5.13 - Resultados dos ensaios estáticos da noz inteira na direção ápice inserção.

	Dim- ap.in	L-L0(mm)	F(N)	E(N/mm ²)
	22.2	0.92	2499	545.5
	24	0.97	1960	380.0
	22.9	0.97	2410.8	478.6
	23.9	1.06	2136.4	363.4
	23.9	1.06	1803.2	306.7
	23.2	1.11	2430.4	391.6
	22.8	1.11	1764	286.7
	23.3	1.4	3136	355.9
	22.9	1.45	3381	367.2
	22.5	1.64	3479	316.9
	24	1.79	4312	333.5
	23	1.84	4312	326.9
	23.4	2.32	4312	228.9
	21	2.56	4900	236.9
	23.2	2.08	4508	283.1
	24.1	1.1	3038	283.1
MÉDIA	23.14	1.46	3149	355.5
D.P	0.78	0.53	1120.51	65,12
C.V.	0.03	0.36	0.36	0.18

Dim.ap.in. - dimensão ápice inserção, L-L₀ - deformação da noz, F - força
E - módulo de elasticidade aparente.

Os resultados dos ensaios estáticos na direção perpendicular ao ápice inserção, são mostrados no Quadro 5.14.

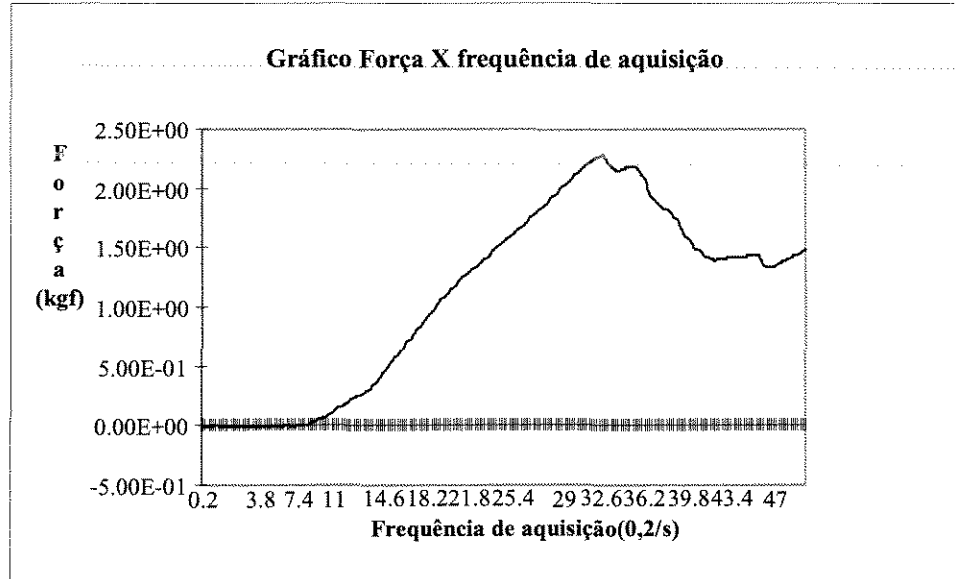


Figura 5.16- Gráfico do ensaio de compressão dos corpos de prova

Quadro 5.14 - Resultados dos ensaios estáticos da noz inteira na direção perpendicular ao ápice inserção.

	Dim.90°	L-L0	F(N)	E(N/mm ²)
	22.5	0.92	2597	563.0
	22.9	0.92	2597	558.1
	23.1	0.92	2597	555.7
	23.3	0.92	2597	553.3
	23.2	0.97	2744	541.2
	23.3	1.21	2959.6	418.0
	23.4	1.4	2744	310.8
	22.3	1.45	3283	361.3
	22.8	1.6	3528	331.3
	22.8	1.74	2744	227.2
	23.1	1.89	4508	327.6
	22.4	1.98	4214	290.0
	22.9	2.27	4067	225.5
	22.6	2.51	4900	235.2
	22.6	2.51	4900	235.2
	22.7	2.61	4900	221.3
MÉDIA	22.87	1.61	3492.5	372.2
D.P.	0.35	0.58	887.56	131.83
CV	0.02	0.36	0.25	0.35

Dim.ap.in. - dimensão ápice inserção, L-L₀ - deformação da noz, F - força, E - módulo de elasticidade aparente.

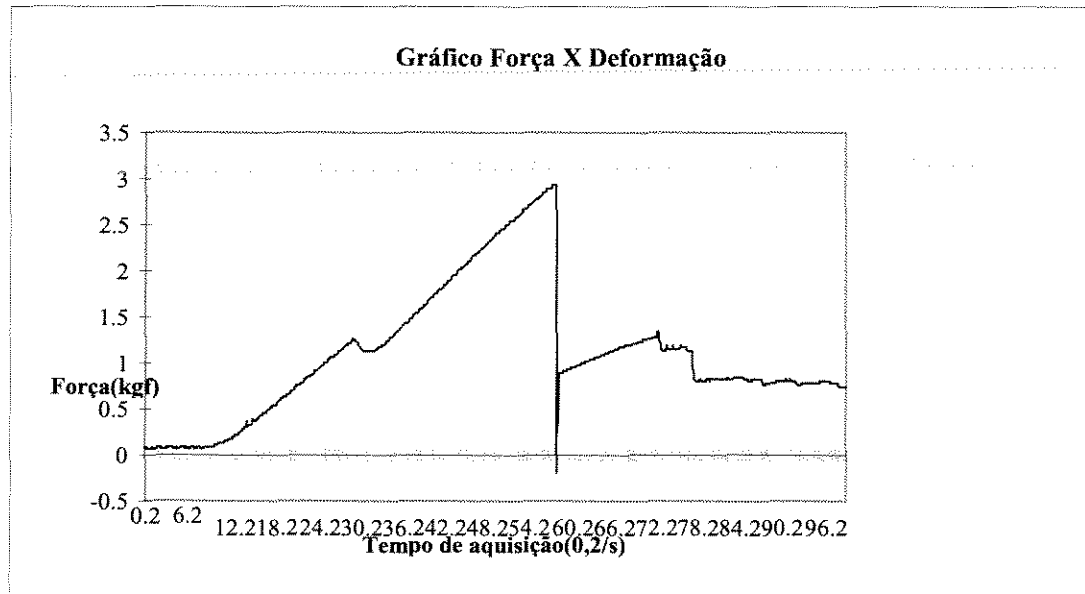


Figura 5.17 - Gráfico do ensaio de compressão das nozes

Os valores encontrados para deformação até a ruptura da noz, são próximos aos obtidos por NEVES et al. (1994a).

Este dados podem auxiliar em projeto de construção de quebradores, como também são parâmetros básicos para confecção de um modelo de elementos finitos.

6. Conclusões.

Dos resultados obtidos conclui-se que a melhor ferramenta foi a ferramenta 1, com um único indente cônico com ângulo de ataque de 60° . Os resultados de desempenho da ferramenta 1 foi superior as demais obtendo-se índices de amêndoas inteiras e metades de quase 87%.

A combinação angular não forneceu resultados significativos.

Os resultados de desempenho a ferramenta 7, plana sem indentes, leva a concluir que os quebradores que trabalham por impacto tendem a fornecer melhores índices de amêndoas inteiras e metades.

Os indentes associados ao impacto tendem a melhorar o rendimento do processo de quebra, minimizando as perdas, isto é, reduzindo o número de amêndoas em pedaços e amêndoas retidas.

Os indentes cônicos das ferramentas reduziram o efeito do anisotropismo da casca da noz, evidenciado pelos índices de casca em metades obtidos na direção perpendicular ao ápice inserção.

O processo de quebra com indentes evidenciam que existe uma correlação entre casca em metade e obtenção de amêndoas inteiras.

O processo de quebra com indentes evidenciam que existe uma correlação entre casca em pedaço e amêndoas em pedaço.

A variação da deformação específica (ϵ) e o comportamento em termos de quebra da noz, teve pouca influência quando se utilizou impacto associado a tensões concentradas, desde que mantida na faixa de $7,7 < \epsilon < 9,5$.

A interferência de, no máximo, 2 mm foi adequada para o processo de quebra.

A metodologia proposta para a confecção dos corpos de prova da casca, mostrou ser apropriada.

O sistema quebrador utilizado para os ensaios mostrou-se adequado, não apresentando problemas de deslindamento, ou quaisquer outras interferências que pudessem vir a prejudicar o andamento dos trabalhos.

7. Sugestões para trabalhos futuros.

A relação deformação específica e interferência pode ser melhor investigada.

Investigar os níveis ótimos de interferências no impacto.

Construir modelo matemático para estudar a influência das tensões associadas ao impacto e número de indentes.

Investigar os efeitos da alimentação contínua com quebrador indentado.

8. Anexos.

data proj;

input

posi	tam	ferr	rep	for	ccaa	casm	casp	amei	amem	amep	amer	
1	1	1	1	170	0	56.7	13.4	65	35	0	0	posi-posição 1,2
1	1	1	2	188	1.54	49.2	10.8	62.5	37.5	0	0	tam-tamanho 1,2,3
1	1	1	3	175	8.2	45.9	16.4	83.3	16.7	0	0	ferr-ferramentas 1,2,3,4,5,6,7
1	1	1	4	154	0	56.9	10.8	47.6	52.4	0	0	rep-repetição 1,2,3,4,5
1	1	1	5	188	0	57.6	12.1	35	55	10	0	for-força em kgf
1	1	2	1	206	7.8	57.8	4.7	33.3	38.1	19.1	9.5	ccaa-casca com amêndoa aderida em g
1	1	2	2	212	8.8	57.3	5.9	71.4	19.1	0	9.5	casm-casca em metade em g
1	1	2	3	237	14.7	35.3	19.1	50	27.8	5.6	16.7	casp-casca em pedaço em g
1	1	2	4	200	37.1	30	17.1	23.5	29.4	11.8	35.3	amei-amêndoa inteira em g
1	1	2	5	206	9.7	46.8	14.5	50	35	5	10	amem-amêndoa em metade em g
1	1	3	1	231	9	29.8	32.8	63	37	0	0	amep-amêndoa em pedaço em g
1	1	3	2	201	7.8	18.7	39.1	58.8	11.8	29.4	11.7	amer-amêndoa retida em g
1	1	3	3	186	0	36.4	33.3	80	20	0	0	
1	1	3	4	169	7.9	46	19	63.2	26.3	0	10.5	
1	1	3	5	180	0	57.1	9.5	57.9	36.8	5.3	0	
1	1	4	1	183	6.9	37.1	25.8	35.3	29.4	17.6	17.6	
1	1	4	2	181	10.6	40.9	27.3	27.8	50	0	22.2	
1	1	4	3	218	8.1	22.6	40.3	38.9	44.4	5.6	11.1	
1	1	4	4	188	0	45.8	23.7	27.8	55.6	16.7	0	
1	1	4	5	211	0	45.3	23.4	55	40	5	0	
1	1	5	1	255	0	35.6	30.6	0	61.1	36.8	0	
1	1	5	2	247	0	21	47.4	43.7	18.7	37.5	0	
1	1	5	3	254	0	12.9	54.8	11.8	47.1	41.2	0	
1	1	5	4	197	0	36.9	27.7	0	78.3	21.7	0	
1	1	5	5	247	0	15	53.3	70.6	23.5	5.9	0	
1	1	6	1	215	0	8.1	59.7	0	47.1	52.9	0	
1	1	6	2	255	0	11.5	54.1	11.1	44.4	44.4	0	
1	1	6	3	243	0	12.7	55.6	0	47.4	52.6	0	
1	1	6	4	234	0	7.8	57.8	26.3	52.6	21.1	0	
1	1	6	5	248	0	15.6	56.2	22.2	38.9	38.9	0	
1	1	7	1	241	0	0	60.9	54.5	20	30	0	
1	1	7	2	248	0	3.1	68.7	55.6	33.3	11.1	0	
1	1	7	3	221	0	12.1	54.5	40	40	20	0	
1	1	7	4	224	0	8.6	63.8	18.7	50	31.3	0	
1	1	7	5	195	0	6.6	65.6	37.5	37.5	25	0	
1	2	1	1	200	0	57	10.1	53.8	46.2	0	0	
1	2	1	2	149	8.1	48.6	13.5	47.8	39.1	4.3	8.7	
1	2	1	3	207	7.8	33.8	28.6	25	54.2	12.5	8.3	
1	2	1	4	197	23.7	18.4	35.5	30.4	39.1	4.4	26.1	
1	2	1	5	214	6.8	28.8	35.6	52.2	21.7	17.4	8.7	
1	2	2	1	250	15.1	48	15.1	56.5	17.4	8.7	17.4	
1	2	2	2	266	0	52.1	12.3	31.6	68.4	0	0	

1	2	2	3	215	0	36.8	31.6	58.3	41.7	0	0	
1	2	2	4	202	0	34.2	35.5	50	22.7	27.3	0	
1	2	2	5	232	0	51.3	14.1	45.8	20.8	33.3	0	
1	2	3	1	182	0	39.5	27.2	29.2	58.3	12.5	0	
1	2	3	2	207	8	49.3	14.7	33.3	33.3	25	8.3	
1	2	3	3	198	0	49.3	21.3	66.7	29.2	4.2	0	
1	2	3	4	223	0	34.2	32.9	48	36	16	0	
1	2	3	5	203	7.2	32.5	30.1	61.5	26.9	0	11.5	
1	2	4	1	216	0	48	18.7	50	45.8	4.2	0	
1	2	4	2	247	7	25.3	36.6	45.4	18.2	27.3	9.1	
1	2	4	3	200	7.8	36.4	27.3	30	47.8	13	8.7	
1	2	4	4	226	0	42.9	27.1	28.6	52.4	19	0	
1	2	4	5	231	0	56.9	11.1	69.6	30.4	0	0	
1	2	5	1	378	0	9.6	56.6	30.8	46.1	23.1	0	
1	2	5	2	382	0	17.9	47.6	32	32	36	0	
1	2	5	3	365	0	32.9	31.7	52	48	0	0	
1	2	5	4	365	0	26.3	39.5	52.2	39.1	8.7	0	
1	2	5	5	367	8.9	34.2	25.3	46.1	30.8	15.4	7.7	
1	2	6	1	299	0	12.3	50.7	18.2	54.6	27.3	0	
1	2	6	2	355	0	31.4	37.1	42.9	47.6	9.5	0	
1	2	6	3	293	0	18.7	49.3	20.8	45.8	33.3	0	
1	2	6	4	357	0	11.5	52.6	0	78.3	21.7	0	
1	2	6	5	266	0	10.1	57	29.2	33.3	37.5	0	
1	2	7	1	221	0	15.9	52.2	39.1	47.8	13.4	0	
1	2	7	2	215	0	21.1	53.5	91.3	4.35	4.35	0	
1	2	7	3	252	0	23.5	41.2	65.2	34.8	0	0	
1	2	7	4	194	0	13.2	55.3	30.4	60.9	8.7	0	
1	2	7	5	242	0	15.9	52.2	39.1	47.8	13.4	0	
1	3	1	1	218	0	28.8	42.3	23.1	46.1	30.8	0	
1	3	1	2	211	0	20	48	6.7	86.7	6.7	0	
1	3	1	3	228	0	37.7	32.1	35.8	57.1	7.1	0	
1	3	1	4	242	0	27.4	37.2	21.8	71.4	7.1	0	
1	3	1	5	254	0	17.3	55.8	33.3	40	26.7	0	
1	3	2	1	208	0	39.6	25	71.4	14.3	14.3	0	
1	3	2	2	255	0	52.9	5.9	72.7	27.3	0	0	
1	3	2	3	268	0	38	30	42.9	42.9	14.3	0	
1	3	2	4	235	0	35.2	29.6	58.8	17.6	23.5	0	
1	3	2	5	173	0	47.1	23.5	47.1	29.4	23.5	0	
1	3	3	1	191	0	46.9	24.5	58.4	33.3	8.3	0	
1	3	3	2	164	0	53.2	17	66.7	25	8.3	0	
1	3	3	3	175	0	38	17.4	41.7	50	8.3	0	
1	3	3	4	188	0	18.7	52.1	41.7	50	8.3	0	
1	3	3	5	158	0	40.8	24.5	30.8	61.5	7.7	0	
1	3	4	1	173	0	45.1	19.6	58.8	23.5	17.7	0	
1	3	4	2	181	0	37.2	41.2	30.8	30.8	38.5	0	
1	3	4	3	226	0	43.7	25	57.1	21.4	21.4	0	

1	3	4	4	187	0	41.2	29.4	30.8	69.2	0	0	
1	3	4	5	236	0	43.7	25	25	66.7	8.3	0	
1	3	5	1	300	0	27.1	41.7	16.7	58.3	25	0	
1	3	5	2	301	0	21.6	47.1	26.7	40	33.3	0	
1	3	5	3	298	0	21.1	44.2	20	53.3	26.7	0	
1	3	5	4	302	0	28	38	35.7	35.7	28.6	0	
1	3	5	5	248	5.8	3.8	57.7	8.3	66.7	16.7	8.3	
1	3	6	1	325	0	19.2	44.2	23.5	47.1	29.4	0	
1	3	6	2	219	0	12	44	25	50	25	0	
1	3	6	3	265	0	20.4	42.9	0	64.3	35.7	0	
1	3	6	4	255	0	20.4	53.1	35.7	42.9	21.4	0	
1	3	6	5	289	0	18	60	25	37.5	37.5	0	
1	3	7	1	190	0	2.1	66.7	46.1	38.5	15.4	0	
1	3	7	2	152	28.6	6.1	44.9	28.6	28.6	14.3	28.6	
1	3	7	3	194	42.8	8.2	30.6	28.6	21.6	7.1	42.9	
1	3	7	4	219	39.1	10.9	32.6	33.3	16.7	8.3	41.7	
1	3	7	5	200	4.5	13.6	61.4	43.5	34.8	17.4	4.3	
2	1	1	1	353	8.3	5	58.3	79	5.3	5.3	10.5	
2	1	1	2	354	0	34.9	36.5	82.3	5.9	11.8	0	
2	1	1	3	353	0	8.6	60.3	29.4	47.1	23.5	0	
2	1	1	4	284	0	32.8	35.9	68.4	15.8	15.8	0	
2	1	1	5	397	0	8.3	60	72.9	16.7	11.1	0	
2	1	2	1	342	0	14.1	51.6	50	33.3	16.7	0	
2	1	2	2	343	0	42.9	23.8	30	50	20	0	
2	1	2	3	341	7.9	27	39.7	0	70.6	17.6	11.8	
2	1	2	4	356	9	19.4	37.3	0	52	36	8	
2	1	2	5	315	7.8	20.3	40.6	25	31.2	31.2	12.6	
2	1	3	1	321	8.9	39.3	26.8	23.1	30.8	38.5	7.8	
2	1	3	2	337	0	7.1	57.1	43.1	31.3	25	0	
2	1	3	3	316	15.8	21.1	36.8	29.4	29.4	23.5	5.3	
2	1	3	4	291	6.7	16.9	45.8	40	46.8	13.3	0	
2	1	3	5	340	0	16.4	47.5	46.1	23.1	17.3	0	
2	1	4	1	403	10.7	21.4	35.7	29.4	11.8	47.1	11.8	
2	1	4	2	363	0	9.4	60.4	8.3	75	16.7	0	
2	1	4	3	274	6.9	13.5	48.3	70.6	11.8	5.9	11.8	
2	1	4	4	311	0	8.3	61.7	31.3	56.3	12.5	0	
2	1	4	5	302	8	26	44	42.9	21.4	28.6	7.1	
2	1	5	1	272	0	10.8	55.4	5.3	57.9	36.8	0	
2	1	5	2	340	0	13.2	57.6	23.5	64.7	11.8	0	
2	1	5	3	214	6.3	9.4	53.1	22.2	38.9	27.8	11.1	
2	1	5	4	278	0	14.9	53.7	23.5	47.1	29.4	0	
2	1	5	5	327	7.6	0	60.6	26.3	42.1	21.1	10.5	
2	1	6	1	220	0	0	78.4	0	60	40	0	
2	1	6	2	325	0	3.3	63.3	29.4	17.7	52.9	0	
2	1	6	3	356	0	6.6	55.7	28.6	28.6	42.9	0	
2	1	6	4	381	5.7	3.8	64.2	50	42.9	0	7.1	

2	1	6	5	270	0	6.9	60.3	11.8	52.9	35.3	0	
2	1	7	1	314	16.7	3.3	53.3	56.3	18.8	6.3	18.8	
2	1	7	2	298	0	11.5	60.7	41.2	52.9	5.9	0	
2	1	7	3	343	0	6.2	64.6	52.6	47.4	0	0	
2	1	7	4	299	8.1	4.8	61.3	62.5	18.7	12.5	6.3	
2	1	7	5	382	0	7	59.6	22.2	72.2	5.6	0	
2	2	1	1	277	0	20.2	48.1	29.2	70.8	0	0	
2	2	1	2	232	0	23.3	42.5	54.2	37.5	8.3	0	
2	2	1	3	269	0	28.6	45.4	40	55	5	0	
2	2	1	4	322	0	48.1	19.7	69.2	19.2	11.2	0	
2	2	1	5	435	0	22.1	46.7	54.2	41.7	4.2	0	
2	2	2	1	348	9.8	28.1	34.1	30.4	43.5	13	13	
2	2	2	2	382	0	20	51.2	45.5	40.9	13.6	0	
2	2	2	3	315	0	33.3	35.9	43.5	30.4	26.1	0	
2	2	2	4	398	0	17.3	48.1	40.7	33.3	25.9	0	
2	2	2	5	357	0	20.2	45.2	29.6	25.9	44.4	0	
2	2	3	1	255	0	26.9	38.5	60.9	30.4	8.7	0	
2	2	3	2	293	0	17.7	48.1	48	40	12	0	
2	2	3	3	265	0	25	41.2	30.8	30.8	38.5	0	
2	2	3	4	287	0	10.7	56	30.4	34.8	34.8	0	
2	2	3	5	282	0	3.7	65	36	16.7	36	0	
2	2	4	1	302	0	22.5	45	68	20	12	0	
2	2	4	2	301	0	23.1	73.5	34.6	26.9	38.5	0	
2	2	4	3	218	0	22.5	43.7	40	52	8	0	
2	2	4	4	252	0	19	40.5	35.7	46.4	17.9	0	
2	2	4	5	295	8.7	8.7	50	46.2	19.2	23.1	11.5	
2	2	5	1	305	0	6.4	52.6	50	33.3	16.7	0	
2	2	5	2	305	0	8.9	55.7	48.2	37	14.8	0	
2	2	5	3	329	0	22.4	43.4	44	36	20	0	
2	2	5	4	325	0	9.8	56.1	18.5	37	44.4	0	
2	2	5	5	417	0	3.7	64.2	20	36	44	0	
2	2	6	1	338	0	11.2	52.5	25	42.9	32.1	0	
2	2	6	2	303	0	18.2	46.7	59.3	29.6	11.1	0	
2	2	6	3	378	0	11.2	51.2	17.2	20.7	62.1	0	
2	2	6	4	331	0	19.2	47.4	46.1	38.5	15.4	0	
2	2	6	5	317	0	14.6	52.4	37	40.7	22.2	0	
2	2	7	1	432	0	0	63.7	17.9	50	32.1	0	
2	2	7	2	364	0	0	68.8	33.3	41.7	25	0	
2	2	7	3	449	0	0	63.3	24.1	27.6	48.3	0	
2	2	7	4	365	0	0	65.8	46.2	30.8	23.1	0	
2	2	7	5	350	0	9.1	55.8	25.9	25.9	48.2	0	
2	3	1	1	363	0	27.3	43.6	56.3	25	18.7	0	
2	3	1	2	362	0	29.1	40	37.5	31.3	31.3	0	
2	3	1	3	359	0	14	67	41.7	33.3	25	0	
2	3	1	4	330	7.7	26.9	40.4	50	35.8	7.1	7.1	

2	3	2	1	335	7.1	12.5	50	18.8	50	25	6.2	
2	3	2	2	362	0	29.1	43.4	20	40	40	0	
2	3	2	3	370	0	21.8	50.9	35.7	28.6	35.7	0	
2	3	2	4	408	7.5	15.1	47.2	53.3	26.7	13.3	6.7	
2	3	2	5	333	6.8	23.7	44.1	47.6	38.1	9.5	4.8	
2	3	3	1	307	0	18.4	53.1	20	40	40	0	
2	3	3	2	306	0	3.6	58.2	20	33.3	46.7	0	
2	3	3	3	311	0	20.7	47.2	28.6	35.7	35.7	0	
2	3	3	4	312	7.4	25.9	40.7	42.9	28.6	21.4	7.1	
2	3	3	5	244	0	37	31.5	29.8	58.8	11.2	0	
2	3	4	1	283	0	35.8	26.4	73.7	26.3	0	0	
2	3	4	2	292	0	54.7	15.1	46.7	40	13.3	0	
2	3	4	3	270	0	24	46	35.7	42.9	21.4	0	
2	3	4	4	274	0	35.3	25.5	0	73.7	26.3	0	
2	3	4	5	276	0	20.7	37.7	13.6	63.6	22.7	0	
2	3	5	1	306	0	9.3	57.4	47.1	41.2	11.7	0	
2	3	5	2	311	0	15.1	54.7	43.8	37.5	18.7	0	
2	3	5	3	289	0	14.5	54.5	43.8	37.5	18.7	0	
2	3	5	4	279	0	17	54.7	53.3	33.4	13.3	0	
2	3	5	5	289	0	12.7	52.7	50	33.3	16.7	0	
2	3	6	1	311	0	1.8	64.8	22.2	55.6	22.2	0	
2	3	6	2	330	0	3.7	64.8	37.5	25	37.5	0	
2	3	6	3	278	0	7.4	68.5	46.2	38.5	15.3	0	
2	3	6	4	295	0	0	60.7	40.9	31.8	27.3	0	
2	3	6	5	297	0	15.1	50.9	31.3	62.5	6.2	0	
2	3	7	1	345	0	9.6	61.5	73.3	20	6.7	0	
2	3	7	2	320	0	3.6	63.6	64.7	11.8	23.5	0	
2	3	7	3	339	0	5.4	61.8	70.6	29.4	0	0	
2	3	7	4	352	0	26.4	41.5	68.7	18.7	12.5	0	
2	3	7	5	391	0	7.4	64.8	80	13.3	6.7	0	

Resultados estatísticos obtidos pelo Software SAS, referentes as amêndoas e os tratamentos analisados e discutidos no capítulo resultados e discussões.

Analysis of Variance Procedure

Class Level Information

Class Levels Values

POSI 2 1 2

TAM 3 1 2 3

FERR 7 1 2 3 4 5 6 7

Number of observations in data set = 210

Dependent Variable: AMEI

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	41	36515.57029	890.62367	3.72	0.0001
Error	168	40259.28800	239.63862		
Corrected Total	209	76774.85829			
R-Square		C.V.	Root MSE	AMEI Mean	
		0.475619	39.20756	15.48027	39.4828571

Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: AMEI

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
POSI	1	17.95219	17.95219	0.07	0.7846
TAM	2	323.36314	161.68157	0.67	0.5107
FERR	6	11598.84162	1933.14027	8.07	0.0001
POSI*TAM*FERR	12	5951.41933	495.95161	2.07	0.0214
POSI*TAM	2	1319.28467	659.64233	2.75	0.0666
POSI*FERR	6	8165.27381	1360.87897	5.68	0.0001
TAM*FERR	12	9139.43552	761.61963	3.18	0.0004

Analysis of Variance Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: AMEI

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ.

Alpha= 0.05 df= 128 MSE= 248.5421

Critical Value of Studentized Range= 2.798

Minimum Significant Difference= 4.3052

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	POSI
A	39.775	105	1
A			
A	39.190	105	2

Analysis of Variance Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: AMEI

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ.

Alpha= 0.05 df= 128 MSE= 248.5421

Critical Value of Studentized Range= 3.354

Minimum Significant Difference= 6.3191

Means with the same letter are not significantly different.

A	41.183	70	2
A			
A	39.010	70	3
A			
A	38.256	70	1
Alpha= 0.05 df= 128 MSE= 248.5421			
Critical Value of Studentized Range= 4.237			
Minimum Significant Difference= 12.194			
Means with the same letter are not significantly different.			
Tukey Grouping	Mean	N	FERR
A	47.363	30	1
A			
A	46.367	30	7
A			
B A	44.333	30	3
B A			
B A	41.113	30	2
B A			
B A	39.587	30	4
B A			
B C	32.203	30	5
C			
C	25.413	30	6

Analysis of Variance Procedure

Class Level Information

Class	Levels	Values
POSI	2	1 2
TAM	3	1 2 3
FERR	7	1 2 3 4 5 6 7

Number of observations in data set = 210

Dependent Variable: AMEM

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	41	15125.81649	368.92235	1.73	0.0085
Error	168	35820.08400	213.21479		
Corrected Total	209	50945.90049			

R-Square	C.V.	Root MSE	AMEM Mean
0.30000	27.86770	14.60188	38.560281

Dependent Variable: AMEM

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
POSI	1	683.463440	683.463440	3.21	0.0752
TAM	2	172.639024	86.319512	0.40	0.6677
FERR	6	3301.959405	550.326567	2.58	0.0203
POSI*TAM*FERR	12	2937.738190	244.811516	1.15	0.3249
POSI*TAM	2	317.019310	158.509655	0.74	0.4770
POSI*FERR	6	2430.677310	405.112885	1.90	0.0836
TAM*FERR	12	5282.319810	440.193317	2.06	0.0218

Analysis of Variance Procedure

Class Level Information

Class Levels Values

POSI 2 1 2

TAM 3 1 2 3

FERR 7 1 2 3 4 5 6 7

Number of observations in data set = 210

Dependent Variable: CASP

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	41	40723.43029	993.25440	11.39	0.0001
Error	168	14645.84800	87.17767		
Corrected Total	209	55369.27829			

R-Square	C.V.	Root MSE	CASP Mean
0.735488	21.76578	9.336898	42.8971429

Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: CASP

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
POSI	1	12178.28876	12178.28876	139.70	0.0001
TAM	2	317.01931	158.50966	0.74	0.4770
FERR	6	3301.95941	550.32657	2.58	0.0203
POSI*TAM*FERR	12	2937.73819	244.81152	1.15	0.3249
POSI*TAM	2	317.01931	158.50966	0.74	0.4770
POSI*FERR	6	2430.67731	405.11289	1.90	0.0836
TAM*FERR	12	5282.31981	440.19332	2.06	0.0218

FERR	6	20353.91095	3392.31849	38.91	0.0001
POSI*TAM*FERR	12	2636.60762	219.71730	2.52	0.0045
POSI*TAM	2	269.51438	134.75719	1.55	0.2162
POSI*FERR	6	1945.47724	324.24621	3.72	0.0017
TAM*FERR	12	3244.94076	270.41173	3.10	0.0005

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: AMEP

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ.

Alpha= 0.05 df= 128 MSE= 121.2796

Critical Value of Studentized Range= 2.798

Minimum Significant Difference= 3.0074

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	POSI
A	21.788	105	2
B	16.243	105	1

Analysis of Variance Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: AMEP

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ.

Alpha= 0.05 df= 128 MSE= 121.2796

Critical Value of Studentized Range= 3.354

Minimum Significant Difference= 4.4142

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	TAM
A	19.246	70	1
A			
A	18.913	70	3

Analysis of Variance Procedure

Tukey Grouping Mean N TAM

A			
A	18.888	70	2

Analysis of Variance Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: AMEP

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ.

Alpha= 0.05 df= 128 MSE= 121.2796

Critical Value of Studentized Range= 4.237

Minimum Significant Difference= 8.5183

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	FERR
A	30.357	30	6
A			

B	A	23.417	30 5
B			
B	C	18.480	30 2
B	C		
B	C	17.863	30 3
B	C		
B	C	16.277	30 4
B	C		
B	C	15.872	30 7
C			
C		10.843	30 1

Analysis of Variance Procedure

Class Level Information

Class Levels Values

POSI 2 1 2

TAM 3 1 2 3

FERR 7 1 2 3 4 5 6 7

Number of observations in data set = 210

Analysis of Variance Procedure

Dependent Variable: AMER

Source	DF	Sum of Squares	Mean Square	F Value	Pr > F
Model	41	4617.150143	112.613418	3.88	0.0001
Error	168	4879.668000	29.045643		
Corrected Total	209	9496.818143			

R-Square	C.V.	Root MSE	AMER Mean
0.486179	191.4044	5.389401	2.81571429

Dependent Variable: AMER

Source	DF	Anova SS	Mean Square	F Value	Pr > F
POSI	1	185.744048	185.744048	6.39	0.0124
TAM	2	206.203143	103.101571	3.55	0.0309
FERR	6	630.574476	105.095746	3.62	0.0021
POSI*TAM*FERR	12	1693.626667	141.135556	4.86	0.0001
POSI*TAM	2	58.572667	29.286333	1.01	0.3670
POSI*FERR	6	221.347619	36.891270	1.27	0.2737
TAM*FERR	12	1621.081524	135.090127	4.65	0.0001

Analysis of Variance Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: AMER

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ.

Alpha= 0.05 df= 128 MSE= 29.38932

Critical Value of Studentized Range= 2.798

Minimum Significant Difference= 1.4804

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	POSI
----------------	------	---	------

A	3.756	105	1
---	-------	-----	---

B	1.875	105	2
---	-------	-----	---

Analysis of Variance Procedure

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: AMER

NOTE: This test controls the type I experimentwise error rate, but generally has a higher type II error rate than REGWQ.

Alpha= 0.05 df= 128 MSE= 29.38932

Critical Value of Studentized Range= 3.354

Minimum Significant Difference= 2.1729

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	TAM
----------------	------	---	-----

A	4.209	70	1
---	-------	----	---

A			
---	--	--	--

B A	2.253	70	3
-----	-------	----	---

B			
---	--	--	--

B	1.986	70	2
---	-------	----	---

Tukey's Studentized Range (HSD) Test for variable: AMER

Alpha= 0.05 df= 128 MSE= 29.38932

Critical Value of Studentized Range= 4.237

Minimum Significant Difference= 4.1933

Means with the same letter are not significantly different.

Tukey Grouping	Mean	N	FERR
----------------	------	---	------

A	5.383	30	2
---	-------	----	---

A			
---	--	--	--

A	4.753	30	7
---	-------	----	---

A			
---	--	--	--

B A	3.697	30	4
-----	-------	----	---

B			
---	--	--	--

B A	2.313	30	1
-----	-------	----	---

B			
---	--	--	--

B A	2.073	30	3
-----	-------	----	---

B			
---	--	--	--

B A	1.253	30	5
-----	-------	----	---

B			
---	--	--	--

B	0.237	30	6
---	-------	----	---

9. Referências bibliográficas.

- ALMEIDA NETO, J. de T. P. A colheita e o beneficiamento de macadâmia. In: São José A. R. ed. Macadâmia: tecnologia de produção e comercialização. Vitória da conquista - BA, DFZ/VESB, 1991, P.131- 147.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS - Compression test of food materials of convex shape. ASAE RECOMENDATION: ASAE S368.2. In: Agricultural engineers yearbook. 920 - 929, 1993.
- ANAZODO, U. G. N. Elastic and visco-elastic properties of agricultural products in relation to harvesting and post-harvest processes. Agricultural Mechanization in Asia, africa e Latin America, Spring: p. 59 - 70, 1982.
- BENEDETTI, B. C. Influência do teor de umidade sobre propriedades físicas de vários grãos. Tese de mestrado, faculdade de Engenharia Agrícola, Unicamp, SP., 1987.
- BRAGA, G. C.; COUTO, S. M.; HARA, T. e SILVA, C. H. O. Comportamento mecânico da noz macadâmia em função do teor de umidade da casca, do tamanho da noz e da posição e taxa de compressão. XXIV Congresso de Engenharia Agrícola. Viçosa -MG, 1995.
- DELWICHE, M.; SARIG, Y. A probe impact sensor for fruit firmness measurement. Transactions of the ASAE, St Joseph, MJ, 34(1):janeiro-fevereiro, 1991.
- FERRAZ, A. C. O., Propriedades Mecânicas do internódio da cana-de-açúcar: uma contribuição metodológica. Tese de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas-SP, 1987.

FINNEY, E. E.Jr.; NORRIS, K. H. Instrumentation for investigating dynamic mechanical properties of fruits and vegetables. Transactions of the ASAE, St Joseph, MJ, 67-325, 1968.

FLUCK, R. C.; AHMED, E. M. Impact testing of fruits and vegetables. Transactions of the ASAE, St Joseph, MJ, 4506: janeiro, 1973.

GOMES, F. P. Curso de estatística experimental. Piracicaba, Universidade de São Paulo-Escola Superior "Luis de Queiroz". v.1, 8^a ed, 430p., 1978.

HAMMERLE, J. R.; MOHSEIN, N. N. Some dynamic aspects of fruit impacting hard and soft materials. Transactions of the ASAE, St Joseph, MJ, 65-320, junho, 1966.

HEARN, E. J., Mechanics of materials: An introduction to the mechanics of elastic and plastic deformation of solids and structural components. Oxford: Pergamon Press, 1977. volume 19, 643p. *(international series on materials science and technology)*.

LEITÃO, A. M. Algumas propriedades físicas e mecânicas da pimenta-do-reino preta, variedade kaluvally. Tese de mestrado, faculdade de Engenharia Alimentos e Agrícola de Campinas, UNICAMP, Campinas, SP, 1983.

LEVERINGTON, R. E. Evolution of macadamia nut varieties for processing. Queensland Journal of Agricultura Science, v. 19, n. 1, p. 33-45, 1962.

LIANG, T. A new processing system for maximizing macadamia nut kernel recovery. Transactions of the ASAE, St Joseph, MJ, 20(3):438-443, 1977.

LIANG, T., CHIN, L. & MITCHELL, J. B. Modeling moisture influence on macadamia nut kernel recovery. Transactions of the ASAE, St Joseph, MJ, 27(4): 1538-1541, 1984.

MOHSEIN, N. N. Physical properties of agricultura products. Transaction of the ASAE, St Joseph, MI, 8(1): 25-9, 1965.

MOHSENIN, N. N. Physical properties of plant and animal materials. New York, Gordon and Breach Science. v.1, 889p., 1986.

MOLTZAU, T. H., RIPPERTON, J. C. Processing of the macadamia. Hawaii Agricultural Experimental Station Bulletin 83, University of Hawaii, 31p, 1939.

MOUSTAFA, S.M.A. Mechanical properties and structural stability of the wheat plant. Tese de PhD, Michigan State University. East Lansing, USA, 1967.

NEVES, P. C., FERRAZ, A. C. O., HONÓRIO, S. L. Mechanical and physical properties of Brazilian macadamia nuts. Acta Horticulturae, v. 370, p. 197-202, 1995.

NEVES, P. C.; FERRAZ, A. C. O.; HONÓRIO, S. L. Influência do impacto mecânico por queda livre, no rendimento industrial de amêndoas de macadâmia: estudos preliminares. XIII Congresso Brasileiro de Fruticultura, Salvador-BA, novembro, 1994.

OLIVEIRA, E. S., VAL, M. R., NEVES, P. C. e SANTOS FILHO, L. F. Experiência e perspectivas com a macadâmia no Brasil. In: São José, A.R. ed Macadâmia: Tecnologia de Produção e Comercialização, Vitória da Conquista BA, DFZ/UESB, 212-224 p., 1991.

RODRIGUES, A. L. G.; FERRAZ, A. C. O.; PIZA, J. T. Avaliação de desempenho de três quebradores de Nozes Macadâmia. XXV Congresso Brasileiro de engenharia Agrícola. Bauru-SP, 1996.

SARIG, Y., GROSZ, F., RASIS, S. The development of a mechanical for macadamia nuts. Journal Agricultural Engineering Research, v. 25, p. 367-374, 1980.

TANG, G. P., LIANG, T., MUNCHMEYER, F. A variable deformation macadamia nut cracker. Transaction of the ASAE, St Joseph, MJ, 25(6): 1506-1522, 1982.

TIMOSHENKO, S. P. and GOODIER, J. N. Theory of elasticity. New York, Mcgraw-Hill Book Company, Inc. USA v. 1, 567p., 1970.

XAVIER, J. A. Estudo da quebra da noz macadâmia. Tese de doutorado, Faculdade de Ciências Agronômicas Campus de Botucatu, UNESP, Botucatu-SP, 1992

XAVIER, J. A.; PIZA, T. J. A. N.; VALARELLI, I. D.; PIZA, P. L. B. T. Avaliação de um quebrador manual de noz macadâmia de lâminas concorrentes. XXIII Congrso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Campinas-SP, julho, 1994.