

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
CENTRO DE CIENCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRICOLA

EFEITO DE DANOS MECANICOS SOBRE PROPRIEDADES FISICAS
DE GRAOS DE MILHO

JUAREZ PAZ PEDROZA

CAMPINA GRANDE - PARAIBA

JUNHO - 1991

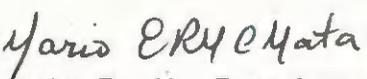
EFEITO DE DANOS MECÂNICOS SOBRE PROPRIEDADES FÍSICAS
DE GRAOS DE MILHO

Juarez Paz Pedroza

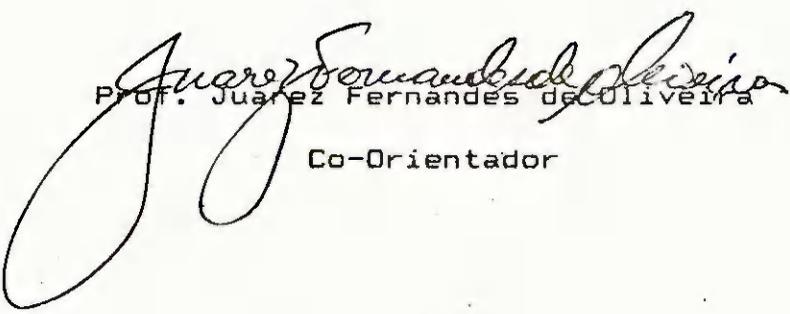
Dissertação aprovada em 18 de Junho de 1991.


Prof. José Helvécio Martins

Orientador


Prof. Mário Eduardo R. M. Cavalcanti Mata

Co-Orientador


Prof. Juarez Fernandes de Oliveira

Co-Orientador

CAMPINA GRANDE - PB

JUNHO - 1991

JUAREZ PAZ PEDROZA

EFEITO DE DANOS MECANICOS SOBRE PROPRIEDADES FISICAS
DE GRAOS DE MILHO.

Dissertação apresentada ao
Curso de Pós-Graduação em En-
genharia Agrícola da Universi-
dade Federal da Paraíba, em
cumprimento às exigências para
obtenção do grau de mestre.

Area de Concentração: Processamento e Armazenamento de Produtos
Agrícolas.

Orientador: Prof. Adjunto José Helvecio Martins (Ph.D)

Co-Orientadores: Prof. Adjunto Mário Eduardo R.M. Cavalcanti Mata
(M.Sc.)

Prof. Adjunto Juarez Fernandes de Oliveira (M.Sc.)

Campina Grande - Paraíba

1991

A Deus,

A minha esposa

A meus pais

A minha vida,

dedico este trabalho

AGRADECIMENTOS

A Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro a esta pesquisa.

A Universidade Federal da Paraíba, através do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade que me foi concedida para cursar o Mestrado.

Em especial, aos professores José Helvecio Martins, Mário Eduardo R.M. Cavalcanti Mata e Juarez Fernandes de Oliveira pelas imprescindíveis orientações e pelos ensinamentos recebidos durante todo o decorrer do curso e desta pesquisa.

A Valéria F. de Oliveira Pedroza, pela paciência, pela confiança e pelo carinho.

Aos amigos Fernando Barbosa, Elita, Luiza, João Miguel, Francisco de Assis, Marcos, Ednaldo e aos demais do NTA, às secretárias do Departamento de Engenharia Agrícola, em especial Ruth Moraes e a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram neste trabalho.

BIOGRAFIA

JUAREZ PAZ PEDROZA, filho de Jeová Pedrosa dos Santos e Maria Euza da Guia Paz, nasceu na cidade de Campina Grande-PB, em 22 de Abril de 1963.

Em 1988, graduou-se em Engenharia Agrícola, pela Universidade Federal da Paraíba, Campus II, Campina Grande, onde, em 1989, iniciou o Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola.

CONTEUDO

	Página
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	xi
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	4
3. REVISÃO DE LITERATURA	5
3.1. Danos Mecânicos	5
3.1.1. Considerações Gerais	5
3.1.2. Fontes de Danos Mecânicos	9
3.2. Propriedades Físicas	22
3.2.1. Considerações Gerais	22
3.2.2. Conceitos	24
3.2.2.1. Calor Específico	24
3.2.2.2. Condutividade Térmica	26
3.2.2.3. Massa Específica e Porosidade ..	28
3.2.2.4. Equilíbrio Higroscópico	30
4. MATERIAIS E METODOS	33
4.1. Generalidades	33
4.2. Índice de Danos	35
4.3. Determinação das Propriedades Físicas	35
4.3.1. Calor Específico	35
4.3.1.1. Capacidade Calorífica do Calorí- metro	37

4.3.1.2. Calor Específico do Milho	38
4.3.2. Condutividade Térmica	38
4.3.3. Massa Específica	40
4.3.4. Porosidade	40
4.3.5. Curvas de Equilíbrio Higroscópico	43
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
5.1. Efeitos da Velocidade do Cilindro da Debulhadora e do Teor de Umidade Sobre os Índices de Danos .	44
5.2. Efeito de Danos Mecânicos Sobre Calor Específico, Condutividade Térmica, Massa Específica e Porosidade	49
5.3. Efeito do Teor de Umidade Sobre Calor Específico, Condutividade Térmica, Massa Específica e Porosidade.....	54
5.4. Efeitos do Índice de Danos e do Teor de Umidade Sobre Equilíbrio Higroscópico de Grãos de Milho.	56
6. CONCLUSOES	66
7. SUGESTOES	67
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	69

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		PAGINA
1	Calorímetro.....	36
2	Aparato para determinação da Condutividade Térmica.....	39
3	Picnômetro de Comparação a ar.....	42
4	Recipiente de vidro hermético para determinação de umidade de equilíbrio.....	43
5	Índice de danos mecânicos de acordo com o teor de umidade dos grãos para duas veloci- dades do cilindro batedor.....	48
6	Curvas da umidade de equilíbrio de grãos de milho de acordo com a umidade relativa e um teor de umidade inicial do produto de 32,7% b.u.....	62
7	Curvas da umidade de equilíbrio de grãos de milho de acordo com a umidade relativa e um teor de umidade inicial do produto de 28,1% b.u.....	63
8	Curvas da umidade de equilíbrio de grãos de milho de acordo com a umidade relativa e um teor de umidade inicial do produto de 18,8% b.u.....	64

9

Curvas da unidade de equilíbrio de grãos de milho de acordo com a unidade relativa e um teor de unidade inicial do produto de 14,1%
b.u.....

65

LISTA DE TABELAS

TABELA		PAGINA
1	Variação dos índices de danos mecânicos (percentagem) de acordo com a velocidade do cilindro da debulhadora e com o teor de umidade do produto.....	42
2	Coefficientes de regressão múltipla para a relação entre índice de danos mecânicos e velocidade do cilindro.....	47
3	Calor específico, condutividade térmica, massa específica e porosidade do milho debulhado a várias rotações do cilindro bateador da debulhadora para um teor de umidade de 32,7% b.u.....	50
4	Calor específico, condutividade térmica, massa específica e porosidade de milho debulhado a várias rotações do cilindro bateador da debulhadora para um teor de umidade de 28,1% b.u.....	51
5	Calor específico, condutividade térmica, massa específica e porosidade de milho debulhado a várias rotações do cilindro bateador da debulhadora para um teor de umidade de 18,8% b.u.....	52

6	Calor específico, condutividade térmica, massa específica e porosidade de milho debulhado a várias rotações do cilindro bateador da debulhadora para um teor de umidade de 14,1% b.u.....	53
7	Variação das médias de propriedades físicas de grãos de milho de acordo com o teor de umidade do produto.....	55
8	Teores de umidade de equilíbrio de grãos de milho a várias velocidades de rotação do cilindro bateador da debulhadora para um teor de umidade de 32,7% b.u., várias umidades relativas e temperatura de 36 °C ($v = 0$, correspondente à testemunha).....	57
9	Teores de umidade de equilíbrio de grãos de milho a várias velocidades de rotação do cilindro bateador da debulhadora para um teor de umidade de 28,1% b.u., várias umidades relativas e temperatura de 36 °C ($v = 0$, correspondente à testemunha).....	58
10	Teores de umidade de equilíbrio de grãos de milho a várias velocidades de rotação do cilindro bateador da debulhadora para um teor de umidade de 18,8% b.u., várias umidades relativas e temperatura de 36 °C ($v = 0$, correspondente à testemunha).....	59

11	Teores de unidade de equilibrio de grãos de milho a várias velocidades de rotação do cilindro bateador da debulhadora para um teor de unidade de 14,1% b.u., várias unidades relativas e temperatura de 36 °C (v = 0, correspondente à testemunha).....	60
----	---	----

RESUMO

O presente trabalho teve como principal objetivo, determinar o efeito dos danos mecânicos sobre propriedades físicas de grãos de milho. Para a obtenção dos diferentes níveis de danos utilizou-se uma bateadeira de cereais marca Nogueira, modelo BC-40, recomendada para trilhar milho, feijão, soja e arroz. Para obtenção dos resultados, foram utilizadas 5 velocidades de rotação do cilindro batedor da debulhadora e 4 teores de umidade do produto, perfazendo 24 tratamentos, incluindo as testemunhas.

Os resultados mostraram que os danos mecânicos tendem a aumentar com o aumento da velocidade do cilindro batedor da máquina e do teor de umidade. Calor específico, condutividade térmica, porosidade, massa específica e umidade de equilíbrio higroscópico dos grãos de milho não foram afetados significativamente por danos mecânicos.

SUMMARY

The main objective of the present work was to determine the effects of mechanical damages on physical properties of shelled corn. In order to obtain different levels of mechanical damages ears corn were shelled on a grain sheller machine using combinations of 5 speeds of the sheller cilinder and 4 different initial moisture contents.

The results showed that the percentage of mechanical damages increases with both increasing of oilinder speed and moisture content of the corn. Specific heat, thermal conductivity, porosity, specific weight, and equilibrium moisture content of the corn were not affected significantly by mechanical damages on the kernels.

1. INTRODUÇÃO

O milho (Zea mays, L.) é uma das plantas de maior importância econômica e um dos quatro mais importantes produtos agrícolas do mundo (BASTOS, 1987). É uma cultura de alto valor nutritivo, amplamente utilizada na alimentação humana e animal, e é um excelente substrato para as indústrias de alimento.

Como é produzido em grande volume, o milho constitui-se num cereal de fundamental importância para o Brasil, especialmente no papel sócio-econômico que o mesmo representa para a região nordeste.

Segundo o IBGE (1985), o Brasil está entre os maiores produtores do mundo, com 22 milhões de toneladas de milho em grãos produzidos em 1985, numa área de 11.801.736 ha e uma produtividade de 1.866 kg/ha.

De acordo com o IBGE (1987/1988), de 1984 a 1986, da área total plantada com milho foi colhida no país 12.465.836 ha com uma produção de 20.530.960 toneladas. A mesma fonte revela que, no mesmo período, a área colhida no Estado da Paraíba foi de 311.990 ha com uma produção de 181.977 toneladas. Por causa da importância dessa cultura todos os parâmetros relevantes para uma melhoria de sua produtividade e minimização das perdas pós-colheita devem ser estudados. //

A agricultura moderna tem proporcionado o manuseio e o processamento de produtos vegetais e animais empregando técnicas mecânica, térmica, elétrica, ótica e aparelhos sônicos (MOHSENIN, 1970). Apesar da aplicação dessas técnicas ter sempre crescido, principalmente nos países desenvolvidos, há a necessidade de se conhecer melhor algumas características e propriedades físicas básicas dos produtos agrícolas. Calor específico, condutividade térmica, massa específica, porosidade, área superficial e muitas outras são propriedades importantes no manuseio e processamento de produtos agrícolas. O conhecimento dessas propriedades é essencial no projeto de uma máquina específica ou na análise do comportamento do produto no manuseio do material.

A forma e dimensões do produto são parâmetros que afetam a curva de secagem ou resfriamento de grãos. Esses parâmetros devem também ser conhecidos para compreender o problema de separação de grãos dos materiais indesejáveis, por meio de equipamentos pneumáticos e eletrostáticos (MOHSENIN, 1970).

A solução de problemas de condução de calor em um produto em seu estado natural requer estimativas exatas da forma do material e suas dimensões correlatas.

Um dos parâmetros importantes no projeto de sistemas de transporte de materiais sólidos através do ar ou água é a forma do material. Estimativas precisas da área frontal e dos diâmetros correlatos são essenciais para a determinação da velocidade terminal, coeficiente de arraste e número de Reynolds.

O conhecimento da massa específica de produtos agrícolas é necessário no cálculo da difusividade térmica em problemas de transmissão de calor, na determinação do número de Reynolds necessário no manuseio pneumático e hidráulico do material, na separação do produto de materiais indesejáveis e na previsão da sua estrutura física e composição química (MOHSENIN, 1970).

As características e propriedades físicas de produtos agrícolas podem ser afetadas por danos às suas estruturas e por alteração na composição química do material, causadas, por exemplo, por temperaturas elevadas durante o processo de secagem.

Os grãos, em geral, podem sofrer danos tanto em suas estruturas externas como em suas estruturas internas, causados por impacto, por exemplo, das partes mecânicas de uma debulhadora ou semeadora. Os equipamentos de transporte, como rosca-sem-fim e elevadores de caçambas, em uma unidade de beneficiamento e armazenagem de grãos podem causar danos significativos ao produto, baixando, assim, sua qualidade e valor comercial. A queda sofrida pelos grãos de uma determinada altura dentro de um silo na hora do seu enchimento também podem causar danos por impacto.

A importância dos danos mecânicos nos grãos depende da finalidade a que se destina o produto. No caso de grãos destinados ao plantio (sementes) é essencial que os índices de danos mecânicos sejam os mais baixos possíveis para minimizar seus efeitos sobre a percentagem de germinação e vigor da planta. Grãos com baixos índices de danos conservam melhor suas caracte-

ísticas intrínsecas e podem ser armazenados por um período mais longo. Entretanto, se a finalidade dos grãos for o processamento imediato para transformação em farinha, pasta, etc, um alto índice de danos mecânicos (quebra, rachadura, etc) poderia talvez, minimizar o gasto de energia em operações, tais como, secagem e moagem.

Todavia, é importante conhecer o efeito dos danos mecânicos sobre as principais propriedades físicas dos grãos, a fim de que se possa prevê-las a partir do conhecimento da percentagem de danos mecânicos do produto na hora de dimensionar máquinas e/ou equipamentos para processamento de grãos e cereais.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve os seguintes objetivos:

1. Determinação da percentagem de danos mecânicos em grãos de milho causados por uma debulhadora, utilizando 5 velocidades de rotação do cilindro e 4 teores de umidade do milho.
2. Determinação das seguintes propriedades físicas do milho para cada tratamento: calor específico, condutividade térmica, massa específica, porosidade e umidade de equilíbrio higroscópico.

3. Correlacionar as propriedades físicas com os índices de danos mecânicos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Danos Mecânicos

3.1.1. Considerações Gerais

Poucos trabalhos a cerca de danos mecânicos causados por uma debulhadora foram encontrados na literatura. Todavia, trabalhos e experiências com elevadores de caçamba, semeadora, simuladores de impacto e outros, realizados por vários pesquisadores, fornecem informações aplicáveis ao estudo de danos causados por uma debulhadora.

O dano mecânico é a falha do produto sob deformação excessiva quando ele é forçado através de espaços fixos ou força excessiva quando ele é submetido a impacto. As forças de impacto podem acarretar desde divisão completa do grão até pequenas rachaduras na película externa do grão ou semente as quais são invisíveis a olho nu. Pequenas rachaduras na pele da semente pode facilitar a entrada de bactérias do solo e obstruir o fornecimento de alimentos mesmo antes que a planta seja estabelecida.

Na determinação de danos mecânicos em vários produtos agrícolas, diversos pesquisadores de várias partes do mundo, principalmente dos Estados Unidos, têm dado maior atenção na determinação dos fatores que diretamente afetam, de modo signifi-

cativo, a intensidade de danos mecânicos sobre sementes (SANTOS, 1976).

O processamento e beneficiamento de grãos envolvem uma série de operações, onde os grãos são submetidos a uma determinada intensidade de danos a cada operação.

Os danos mecânicos, de acordo com BAUDET et alii (1978), que ocorrem durante as sucessivas vezes em que lotes de grãos são manuseados nos diversos equipamentos de uma unidade de beneficiamento constituem um dos mais importantes fatores que dificultam a obtenção de sementes de alta qualidade.

A qualidade de grãos agrícolas é um parâmetro importante tanto para a comercialização quanto para as indústrias de sementes. Danos mecânicos sempre ocorrem durante o processamento de produtos agrícolas, diminuindo sua qualidade e agravando os problemas relacionados com manuseio e armazenamento (MOREIRA et alii, 1981).

As sementes de feijão, quando submetidas à debulha mal conduzida, podem apresentar qualidade inferior em consequência das injúrias mecânicas sofridas (ARAÚJO et alii, 1986).

Segundo Hurd, citado por YAKAOKA (1980), uma das primeiras referências que se relacionam às danificações mecânicas é de Nobbe, em 1872, que relatou o fato de que as sementes de milho trilhadas mecanicamente eram mais injuriadas do que as debulhadas

manualmente. Segundo esse mesmo autor a falta de mão-de-obra, o menor número de horas de trabalho do operário rural, a falta de salários adequados e dos benefícios sociais, alteraram profundamente a situação das atividades agrícolas, de tal modo que o trabalho humano, por não ser suficientemente barato e abundante para ser utilizado, exige a mecanização da agricultura.

Por outro lado, de acordo com COAN et alii (1986), 68% da produção nacional de milho é obtida em pequenas propriedades, onde não se recomenda a colheita mecanizada. Desta forma, conclui-se que o sistema mais adequado é o semi-mecanizado. Nesse sistema as espigas são colhidas manualmente e, posteriormente, submetidas ao processo de trilha em máquinas de pequeno porte, geralmente acopladas ao sistema hidráulico de um trator e acionadas pelo eixo da tomada de potência do mesmo. Belçaguy, citado por COAN et alii (1986), relata que as perdas na debulha mecânica variam de 30 a 40 kg/ha.

Segundo SANTOS (1976), há uma forte tendência no Brasil para o uso de máquinas no processamento de sementes desde a colheita até o uso das mesmas pelo consumidor.

Ayres et alii, citados por CHOWDHURY & BUCHELE (1976), relatam que danos mecânicos de milho durante a colheita são estimados em 16,4 a 79,4% do total colhido.

Roa, citado por MORAES et alii (1980), estima em 10 a 40% as perdas de sementes e grãos produzidos no Brasil, dos quais

grande parte é devida aos danos mecânicos.

* A injúria mecânica é apontada como um dos mais sérios problemas da produção de sementes. Essa injúria é consequência, em sua maior parte, da mecanização das atividades agrícolas, tornando-se um problema praticamente inevitável. O conhecimento de como esses danos ocorrem e dos fatores que interferem na sua intensidade pode facilitar o seu controle (CARVALHO & NAKAGAWA, 1979).

MOREIRA et alii (1981) enfocam a formação de rachaduras internas em grãos de milho durante o processo de debulha e argumentam que a qualidade final de produtos agrícolas pode ser afetada pela propagação de danos internos, que se exteriorizarão como rachaduras externas ou, no caso mais grave, como quebra total do produto durante processamentos futuros.

Para Mackay, citado por BAUDET et alii (1978), a dani-ficação mecânica produz sementes quebradas, que são removidas durante a limpeza, e sementes com embrião fraturado ou contundi-do, o que se nota só após a germinação, na forma de anormalidade das plântulas.

A susceptibilidade das sementes aos danos mecânicos varia com a espécie, variedade, condições de colheita e de seca-gem, estágio de maturação, armazenagem prévia, posicionamento da semente com relação ao eixo radícula-hipocótilo, tamanho, manu-seio deficiente das sementes durante o beneficiamento, energia de

impacto (quer no cilindro de colhedei-
ras, em queda livre ou arremessada, quer em operação manual),
temperatura, idade e, principalmente, teor de umidade (MOHSENIN,
1970; HORAES et alii, 1980; ROCHA et alii, 1984; SANTOS et alii,
1976).

3.1.2. Fontes de Danos Mecânicos

A danificação mecânica corresponde a danos causados às
sementes, por apenas agentes mecânicos durante o seu manuseio,
que abrange da colheita à sementeira, apresentando-se sob formas
de quebras, trincas, cortes, pressões, tegumentos rachados,
lesões no embrião e outros tipos (Bunch, citado por YAMAOKA,
1980; HORAES et alii, 1980).

A danificação mecânica é causada por choques e/ou abra-
sões das sementes contra superfícies duras ou contra outras
sementes, o que provoca sementes quebradas, trincadas, fragmenta-
das, arranhadas e inteiramente danificadas (Andrews & Delouche,
citados por BAUDET et alii, 1978).

As causas de danos mecânicos em produtos agrícolas são
em virtude de forças externas sob condições estáticas ou dinâmi-
cas ou forças internas, que podem ter como agentes causadores as
mudanças de temperatura e umidade ou mudanças químicas e bioló-
gicas (MOHSENIN, 1970).

As máquinas e equipamentos utilizados desde a colheita até a semeadura provocam danificações de maior ou menor grau, atribuídas à ação de impactos, abrasões e cortes (YAMAOKA, 1980).

O impacto mecânico durante a colheita e processamento de grãos agrícolas é uma das causas mais comuns de danos (MOREIRA et alii, 1981).

Uma das causas mais comuns de danos mecânicos em produtos agrícolas é o choque e o impacto durante manuseio mecânico. No manuseio mecânico de grãos e sementes, a maioria dos danos ocorre no debulhamento bem como no transporte mecânico por esteiras rolantes (MOHSENIN, 1970).

Dentre as várias fontes de injúria mecânica, tais como máquina de semeadura, processo de beneficiamento, armazenamento e transporte, as máquinas colheitadeiras constituem-se em uma das mais importantes fontes de injúria mecânica. Na colheitadeira, a injúria mecânica ocorre no momento da debulha, isto é, no momento em que forças consideráveis são aplicadas sobre os grãos a fim de separá-los da estrutura que os contém. Ocorre essencialmente em consequência dos impactos recebidos no cilindro debulhador e no momento em que passa através do côncavo da máquina (CARVALHO & NAKAGAWA, 1979).

COSTA et alii (1979), avaliaram as perdas e qualidade de sementes na colheita mecânica de soja e observaram que sementes oriundas da colheita mecânica apresentaram maior incidência

de microorganismos e bactérias, indicando a provável ação prejudicial dos impactos sofridos pelas sementes.

Uma semente cujo tegumento for rompido por um impacto torna-se muito mais sensível à deterioração durante o armazenamento.

CARVALHO & NAKAGAWA (1979), citam dois tipos de injúria mecânica sobre a qualidade das sementes:

- 1) Efeitos Imediatos - são aqueles que se fazem sentir logo após a semente ter sido injuriada. Dificilmente esse tipo de efeito constitui problema. Na maioria das vezes, a semente é armazenada e não semeada. Os efeitos imediatos da injúria mecânica caracterizam-se por serem graves apenas quando o grau de injúria é muito grande. Se a extensão da injúria não for muito grande a semente pode cicatrizar o tecido afetado e a germinação se processa de forma normal. A cicatrização do tecido injuriado consome tempo e energia, o que provoca retardamento na germinação, bem como a emergência de uma plântula mais fraca. A medida em que aumenta a gravidade da injúria mecânica, aumentam as exigências de tempo e energia, até o ponto em que a cicatrização se torna impossível e a germinação não ocorre.

2) Efeitos Latentes - são os usualmente observados após as sementes injuriadas terem permanecido armazenadas no período entre a colheita e a semeadura. Neste caso, a possibilidade da injúria mecânica ter consequências mais sérias é muito maior.

STEELE et alii (1969), verificaram que sementes de milho, injuriadas durante a colheita, apresentaram uma taxa de deterioração 3,5 vezes maior do que outras que foram debulhadas manualmente.

De acordo com Moore, citado por CARVALHO & NAKAGAWA (1979), o tecido afetado serve como um "centro de infecção" para o resto da semente. O ponto onde o tegumento se rompeu serve de porta de entrada para fungos de armazenamento, os quais contribuem para deterioração da semente.

Na colheita mecânica da soja, os impactos dos mecanismos da colheitadeira sobre a semente afetam a sua qualidade fisiológica, de imediato ou de forma gradativa, durante a armazenagem. Os danos causados às sementes se manifestam imediatamente pela queda na qualidade fisiológica e também durante e após a armazenagem, pela deterioração e proliferação de doenças. No decorrer da colheita, a semente passa por uma série de impactos que afetam sua qualidade, e, em muitos casos, não terá condições de ser armazenada por períodos superiores a seis meses (COSTA et alii, 1979).

O beneficiamento das sementes através de diferentes equipamentos resulta em um efeito acumulativo dos danos e a consequência extrema é a morte das sementes (Bunch, citado por YAMAOKA, 1980; Copeland, citado por ROCHA et alii, 1984).

As consequências dos danos mecânicos podem manifestar-se imediatamente depois do impacto, com rápida diminuição da germinação, ou algum tempo depois do impacto, como efeito latente, com lentas e graduais reduções no vigor e na germinação. Além de dificultar as operações de beneficiamento, reduzir o potencial de armazenamento e o valor da semente, quando ocorrem na casca de alguns produtos, podem aumentar a tendência ao desenvolvimento de bolor durante o armazenamento (MORAES et alii, 1980; ROCHA et alii, 1984; MOHSEIN, 1970).

Bunch, citado por YAMAOKA (1980), afirma que os danos mecânicos, muitas vezes, não são suficientes para destruir as estruturas essenciais das sementes, mas suficientes para que as mesmas proporcionem plântulas mais fracas e anormais, que apresentam maior susceptibilidade ao ataque de microorganismos, maior sensibilidade a fungicidas e menor potencial de armazenamento.

Entre os vários fatores que afetam a viabilidade das sementes, a injúria mecânica é, provavelmente, o fator mais importante dos que concorrem para reduzir o período de viabilidade de sementes. Dependendo do local atingido e do impacto, tem-se maior ou menor perda de vigor, que pode comprometer totalmente um lote de sementes. O vigor das sementes afeta o comportamento

da própria semente e o da planta resultante. Os efeitos do vigor sobre as sementes estão relacionados com seu potencial de armazenamento e com sua capacidade de germinação. Uma planta proveniente de semente menos vigorosa, apresentará menor desenvolvimento do que outra, proveniente de semente mais vigorosa. Em consequência, um atraso na emergência e no crescimento inicial das plantas pode retardar o início do florescimento e afetar a produção (CARVALHO & NAKAGAWA, 1979).

Um dos problemas mais sérios e conhecidos como causador da redução do vigor das sementes, são os danos mecânicos a que elas estão sujeitas durante a colheita, processamento e manuseio que sofrem até o instante da próxima semeadura (Pollock e Roos, citados por YAHOKA, 1980; CARVALHO & NAKAGAWA, 1979).

A intensidade da injúria mecânica que sofre uma semente é avaliada pelos efeitos sobre germinação e o vigor. Germinação e vigor das sementes são afetados, diferentemente, devido à interação de uma série de fatores tais como intensidade e número de impactos, local do impacto e características da semente. Todavia, o teor de umidade da semente no momento do impacto, é o fator que, sozinho, desempenha o papel mais importante dentre os que determinam a gravidade da injúria mecânica sofrida pelas sementes. A injúria mecânica, em função do teor de umidade, pode ser classificada em dois tipos (CARVALHO & NAKAGAWA, 1979):

- 1) Quebramento - É o tipo de injúria que a semente sofre quando o seu teor de umidade é muito baixo e o

impacto recebido na superfície se distribui ao longo de uma linha resultante das forças em ação com a mesma intensidade do momento do impacto. Disso resulta o rompimento dos tecidos da semente ao longo daquela linha.

- 2) Amassamento. - Quando o teor de umidade da semente é muito alto, o impacto se distribui de maneira limitada, ficando, praticamente, toda sua força concentrada em uma região relativamente pequena. Devido ao excesso de umidade os tecidos são tenros e a semente fica amassada na região onde ocorreu o impacto.

De acordo com CARVALHO & NAKAGAWA (1979), para teores de umidade intermediários, a força do impacto tende a ser distribuída de maneira homogênea por toda a semente, de maneira que é absorvida e amolecida, não causando nenhum efeito prejudicial. Pode-se dizer que, na prática, a injúria mecânica por "quebramento" começa a aumentar de intensidade à medida em que o teor de umidade se reduz a 12-14% e, por "amassamento" a partir de 16-18% de umidade. Dentro dessas faixas a intensidade de injúria mecânica seria mínima (CARVALHO & NAKAGAWA, 1979; Bunch & Delouche, citados por BAUDET et alii, 1978).

O teor de umidade das sementes durante o beneficiamento está intimamente relacionado com a percentagem de quebra, sendo que maiores percentagens são verificadas quando sementes com menores teores de umidade são submetidas a maiores impactos

(MORSEMIN, 1970; BAUDET *et alii*, 1978).

Segundo Thomson, citado por ARAÚJO *et alii* (1986), as sementes com umidade elevada, quando submetidas à debulha mecânica, podem ser esmagadas e seus tecidos danificados.

Dexter, citado por YAMADA (1980), afirma que é muito conhecido o fato de sementes de feijão, soja e milho serem danificadas pelas semeadoras por ocasião da semeadura, e que as danificações se acentuam com a velocidade das máquinas, seleção inadequada dos discos dosadores e emprego de baixo teor de umidade nas sementes.

MORAES *et alii* (1980) relatam que, além do aumento da velocidade de impacto, teores de umidade inferiores a 11% tornam o efeito do impacto mais severo.

COSTA *et alii* (1979) avaliaram as perdas e qualidade de sementes na colheita mecânica de soja. Constataram um índice de danos mecânicos maior quando o produto era colhido com um teor de umidade abaixo de 11,5%.

Bunch, citado por BAUDET *et alii* (1981), menciona um trabalho realizado com milho e feijão por vários pesquisadores onde semente de milho com 14% de umidade, por exemplo, mostrou apenas 3 a 4% de dano mecânico com uma única queda de uma altura de 1,8m, ao passo que a semente com 8% de umidade, processada como a anterior, mostrou 70 a 80% de danificação.

MOREIRA et alii (1981) observaram que as tensões e compressões calculadas no interior de grãos de milho mostraram tendência de aumentar com um acréscimo na velocidade de impacto e um decréscimo do teor de umidade.

No estudo da caracterização física e danos mecânicos causados por energia de impacto em castanha-do-Brasil, SANTOS (1976), utilizou três teores de umidade (13, 18 e 23% b.u.) e três velocidades angulares (1500, 1100 e 700 rpm). Ele observou que o teor de umidade influi no controle do dano, reduzindo seu efeito com o aumento de umidade e que a menor quantidade de dano ocorreu em todos os níveis de umidade, na rotação de 700 rpm, onde se verificaram as mais baixas energias de impacto. Foi verificado, também, nas castanhas submetidas à ação de menor energia de impacto e com um teor de umidade mais alto, manchas na região de impacto.

Almeida, citado por ROCHA et alii (1984), utilizou uma bateadeira especial de feijão de marca Laredo, com três diferentes rotações do cilindro batedor, diferentes teores de umidade e cultivares de feijão no estudo de danificações mecânica. Constatou que a quebra das sementes diferiu entre os cultivares e que os danos aumentaram com a velocidade do cilindro e com a redução do teor de umidade da semente. Ele observou que a rotação de 750 rpm do cilindro seria mais indicada na trilhagem de sementes mais úmidas e de 500 rpm para sementes mais secas.

Razera, citado por YAMAOKA (1980), utilizou três semeadoras de tração mecânica e quatro velocidades (4, 6, 8 e 10 km/h) em um estudo do efeito de danificações mecânicas em sementes de soja. Analisando os resultados, através de ensaios de laboratório e de campo, chegou à conclusão de que as semeadoras testadas causaram danificações mecânicas nas sementes. De forma geral, as semeadoras utilizadas não diferiram entre si quanto à intensidade de danos, sendo a velocidade de semeadura o principal fator que afetou a intensidade das danificações causadas pelas semeadoras.

MORAES et alii (1980), demonstraram que a velocidade de impacto e o teor de umidade exerceram influência sobre a germinação das sementes de soja. A percentagem de germinação decresceu com velocidades mais elevadas e teores de umidade mais baixos. Verificaram que a velocidade e a posição do impacto e o teor de umidade da semente exerceram influência no potencial de germinação e vigor das sementes.

Whitney, Bainer e Barmington, citados por YAMAOKA (1980), desenvolveram trabalhos que relacionam danificações com semeadoras e revelam que as sementes eram consideravelmente danificadas e que as percentagens de germinação das sementes semeadas mecanicamente eram menores do que as semeadas manualmente.

Greco et alii, citados por YAMAOKA (1980), realizaram diversos ensaios com uma semeadora-adubadora e determinaram a queda do poder germinativo das sementes de diversas espécies ao passarem pela máquina cuja velocidade era de 6,1 km/h. Verifica-

ram uma queda no poder germinativo das sementes que passaram pela semeadora, de 8,5% para amendoim, 7,5% para arroz, 2,1% para milho híbrido e 0,9% para soja.

COAN et alii (1986) utilizaram uma trilhadora de cereais marca Noqueira, modelo BC-40, acoplada a um trator marca Massey Ferguson, modelo 285, e demonstraram que, de uma maneira geral, o dano mecânico tende a aumentar com o acréscimo da velocidade tangencial do cilindro batedor (650, 700, 750, 800 e 850 rpm), prejudicando sensivelmente o poder germinativo da semente.

Coelho, citado por ROCHA (1984), através de análise em sementes de soja com e sem lesões aparentes, constatou que sementes não danificadas obtiveram germinação superior à da fração com lesões. Estes resultados sugerem que a injúria mecânica é a principal causa da presença de plântulas anormais e, dependendo da gravidade da lesão, é a responsável pela presença de sementes mortas.

ROCHA et alii (1984) avaliaram os danos mecânicos e a viabilidade de sementes de ervilha, para três velocidades do cilindro batedor (850, 1160 e 1350 rpm) de uma colheitadeira Massey Ferguson, modelo 220. Observaram que no processo de trilhagem a rotação do cilindro afetou a qualidade do produto colhido. Sementes com melhores qualidades foram obtidas para uma velocidade do cilindro de 1160 rpm. Sementes provenientes da colheita manual apresentaram maior percentagem de germinação e maior viabilidade quando comparadas com sementes colhidas mecani-

camente.

Silva, citado por ROCHA et alii (1984), relacionou os efeitos da velocidade do cilindro e abertura do côncavo de uma colheitadeira e o teor de umidade com a qualidade de semente de soja. Os resultados mostraram que a percentagem de germinação e vigor das sementeas são inversamente proporcionais ao aumento da velocidade do cilindro e diretamente proporcionais ao aumento do teor de umidade. Os danos mecânicos visíveis eram diretamente proporcionais ao aumento da velocidade do cilindro e inversamente proporcionais ao aumento do teor de umidade. Segundo ele as sementes colhidas com teor de umidade abaixo de 13% estão sujeitas a maior percentual de danos, enquanto que as sementes de soja colhidas com teores de umidade acima de 15% estão sujeitas a maior percentagem de sementes amassadas.

BAUDET et alii (1978) estudaram os efeitos imediatos e latentes de danificação mecânica sobre a qualidade física e fisiológica de semente de soja, em função da velocidade (65, 85, 105, 125 e 145 rpm) de um elevador de caçambas de descarga centrífuga e do número de passagens de sementes com diferentes teores de umidade por um sistema elevador-secador. Observaram que os efeitos imediatos dos danos mecânicos, causados pelo sistema elevador-secador sobre a qualidade fisiológica da semente de soja, apresentaram decréscimo de germinação e do vigor das sementes com o aumento da velocidade do elevador e com o aumento do número de passagens da semente pelo sistema elevador-secador. Eles constataram pelo teste de germinação que a velocidade mais

alta (145 rpm) resultou em germinação significativamente menor que a mais baixa (65 rpm). O teste de envelhecimento precoce mostrou que as velocidades maiores (105, 125 e 145 rpm) resultaram em sementes significativamente menos vigorosas. Demonstraram ainda que o número de passagens da semente pelo sistema elevador-seoador causou efeitos imediatos de danificação mecânica, determinadas pelo decréscimo da germinação e do vigor, proporcional ao número de vezes que a semente passou pelo sistema. Com relação aos efeitos latentes, eles verificaram que os danos mecânicos foram mais evidentes após o período de 180 dias de armazenamento.

A germinação e vigor de sementes de feijão na faixa de 18,7 a 34,9% de umidade, foram prejudicados pela debulha principalmente para sementes com maior teor de umidade. Os resultados de germinação e de vigor sugeriram maior sensibilidade das sementes, quando debulhadas com 30,6 e 34,9% de umidade e indicaram efeito prejudicial da batida com vara no terreiro e com trilhadreira, quando comparadas com a batida em sacaria. A sacaria, provavelmente, funcionou como um amortecedor, reduzindo o impacto nas sementes (ARAÚJO *et alii*, 1986).

CHOWDHURY & BUCHELE (1976) utilizaram uma debulhadeira (rolo compressor de pneumáticos de rodagem macia) acoplada a um trator (Oliver 77) que transmitia potência para o debulhamento e desenvolveram um índice numérico de danos para avaliação crítica de danos mecânicos em milho. Concluíram que o teor de umidade das sementes, o aumento de pressão no cilindro e a velocidade do cilindro foram significativos, ao nível de 1% de probabilidade

pelo teste F, para o índice de danos. O índice de danos aumentou com as elevações do teor de umidade, velocidade do cilindro e pressão no cilindro. Teor de umidade foi a variável que teve maior influência sobre os índices de danos para as diferentes categorias de sementes de milho danificadas.

3.2. Propriedades Físicas

3.2.1. Considerações Gerais

Na literatura consultada não foram encontrados trabalhos sobre os efeitos de danos mecânicos sobre as propriedades físicas de produtos biológicos.

O conhecimento do comportamento das propriedades físicas dos grãos é um dos fatores decisivos em pesquisas e projetos de equipamentos de manuseio, transporte, seleção e processamento de produtos agrícolas, ou seja, é de vital importância para se determinar as tecnologias mais adequadas para as operações subsequentes à colheita. A aplicação de tais propriedades, no entanto, apresenta inúmeras restrições, pois variam segundo as condições ambientais, espécie, variedade, tipo de grão, localização, fertilidade dos campos de cultivo, práticas agrícolas e de pré-processamento empregadas e período de armazenamento (ALMEIDA et alii, 1979; SOARES & DALPASQUALE, 1986).

Massa específica, porosidade da massa, área superficial e volume dos grãos, dentre outros, são parâmetros importantes no

estudo de problemas inerentes à hidrodinâmica, aerodinâmica, transferência de energia e de massa, transporte e armazenamento de grãos (SOARES & DALPASQUALE, 1986).

Teor de umidade e massa específica são utilizados para determinar condições de armazenamento e o grau de comercialização do produto. O conhecimento das propriedades térmicas é essencial para pesquisadores e projetistas no campo da Tecnologia e da Engenharia de Alimentos para vários fins como, por exemplo, taxas de secagem ou distribuição de temperatura no interior de alimentos de composição e geometria variadas, quando submetidos a diferentes condições de secagem e/ou resfriamento, e dispositivos de desidratação e esterelização (ALMEIDA, 1979).

O tegumento desempenha a função de regular a velocidade de absorção de água pelas sementes. Portanto, pode-se esperar que essa função seja anulada ou, pelo menos, realizada com menor eficiência quando uma pancada sobre a semente romper a sua integridade. Nessas circunstâncias, a semente injuriada tem, em determinado ambiente, um ponto de equilíbrio higroscópico maior do que uma semente não danificada (CARVALHO & NAKAGAWA, 1979).

Em um estudo sobre as propriedades físicas de amêndoas de cacau, ALMEIDA (1979) empregou 11 teores de umidade diferentes, variando de 0,8% à 105,4% b.s. e concluiu que a condutividade térmica, o calor específico e a massa específica crescem linearmente com o aumento do teor de umidade e a porosidade decresce linearmente com o aumento do teor de umidade.

SOARES & DALPASQUALE (1986) utilizaram teores de umidade variando de 0,13 a 0,32, decimal b.s. no estudo de algumas propriedades físicas de soja e observaram que não ocorreu variações da massa específica global da massa de grãos de soja para teores de umidade menores que 0,17, decimal b.s.. Concluíram, também, que a porosidade da massa de grãos pode ser considerada função apenas da massa específica global, em virtude da não variação da massa específica aparente.

3.2.2. Conceitos

Conceitos de algumas propriedades físicas de grãos são discutidas a seguir.

3.2.2.1. Calor Específico

Energia calorífica é propagada através de uma substância devido a um gradiente de temperatura dT/dx . O calor específico de uma substância denota a variação de temperatura com a quantidade de calor armazenada dentro da substância. O calor específico depende da natureza do processo de adição de calor, isto é, se o processo ocorre a pressão constante ou a volume constante. O efeito da pressão sobre o calor específico de sólidos e líquidos é muito pequeno e as variações de pressão nos problemas de transmissão de calor de produtos agrícolas são, em geral, pequenas. Portanto, o calor específico de produtos agrícolas é considerado a pressão constante.

O calor específico de uma substância é definido pela expressão:

$$C_p = \frac{Q}{(\rho V) \Delta T} \quad (1)$$

em que

C_p = calor específico, J/kg °C

Q = quantidade de calor necessária para causar um aumento de temperaturas T , J

ρ = massa específica da substância, kg/m³

V = volume da substância, m³

ΔT = aumento de temperatura, °C

Ou pela razão entre a capacidade térmica e a massa do corpo (ALMEIDA, 1979):

$$C_p = \frac{C}{m} \quad (2)$$

em que

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = \text{capacidade térmica, J/°C} \quad (3)$$

m = massa do corpo, kg

ALMEIDA (1979) propõe os seguintes métodos para determinação do calor específico, cujas descrições encontram-se em Wratten et alii (1969):

- 1) Relação entre a condutividade térmica, massa específica e difusividade térmica.
- 2) Processo das misturas.
- 3) Calorímetro de varredura diferencial.
- 4) Calorimetria do gelo.
- 5) Bomba calorífica.

3.2.2.2. Condutividade Térmica

Condutividade térmica é a taxa de calor que flui por condução, por unidade de tempo, normal a uma superfície de área unitária, quando se estabelece um gradiente de temperatura, dT/dx , entre duas superfícies paralelas e de espessura unitária (ALMEIDA, 1979; MOHSENIN, 1970).

Condutividade térmica pode também ser definida como o fator de proporcionalidade da lei de Fourier para a transmissão de calor em estado estacionário:

$$q = KA \frac{dT}{dx} \quad (4)$$

em que

q = fluxo de calor, W/s

K = condutividade térmica, W/m °C

A = área, m²

$\frac{dT}{dx}$ = gradiente de temperatura, °C/m

Segundo ALMEIDA (1979) a condutividade térmica é denominada aparente (ou efetiva) quando incluídos outros mecanismos de transmissão de calor. Ele relata que os métodos utilizados para determinação da condutividade e da difusividade térmica dos materiais são métodos estacionários e transitórios ou uso de equação, como no método 1) citado no item 3.2.2.1., que usa a equação:

$$\alpha = \frac{k}{C_p \rho} \quad (5)$$

em que α é a difusividade térmica do material.

O método estacionário consiste basicamente em resolver a equação de condução de calor, para transferência de calor em estado estacionário, em placas paralelas, cilindros concêntricos e esferas concêntricas (FORTES, 1978). Este método não é recomendado em pesquisas com materiais biológicos (Reydy & Rippen, citados por ALMEIDA, 1979).

De acordo com ALMEIDA (1979), o método transitório consiste em introduzir no material uma fonte linear de calor (resistor eletricamente aquecido) e medir o incremento de temperatura com um termopar próximo ao ponto médio da fonte.

3.2.2.3. Massa Específica e Porosidade

A massa específica de materiais alimentícios e de produtos agrícolas desempenham um importante papel em muitas aplicações, tais como secagem e armazenagem de produtos agrícolas (MOHSEIN, 1980).

Existem três tipos de massa específica em se tratando de materiais biológicos. Massa específica volumétrica refere-se à quantidade de massa de unidades individuais intactas do material reunidas em um dado volume. Esse tipo de massa específica inclui o espaço poroso dentro da massa do material. Massa específica aparente refere-se à massa de cada unidade intacta do material dividida pelo volume da partícula. Esse tipo de massa específica inclui o espaço poroso dentro de cada partícula. Finalmente, massa específica real ou massa específica sólida refere-se à massa por unidade de volume dos sólidos dentro de cada unidade do material (MOHSEIN, 1970).

De acordo com SOARES & DALPASQUALE (1986), os métodos mais conhecidos para a determinação da massa específica aparente envolvem deslocamento de líquido ou de ar. Para Gustafson e Hall, citados por esses autores, os métodos que envolvem deslocamento de líquido têm a vantagem de requererem equipamentos comuns de laboratório, enquanto os que envolvem deslocamento de ar requerem equipamentos especiais como os picnômetros.

A porosidade de materiais biológicos tem sua importância concernente à hidrodinâmica, aerodinâmica e transferência de calor e massa, além de ser necessária para o dimensionamento de silos (CAVALCANTI HATA & FERNANDES FILHO, 1984).

É importante conhecer a variação da porosidade na massa de grãos, em decorrência das modificações do volume e dimensões das sementes submetidas ao processo de secagem (PRADO, 1978).

Segundo MOHSENIN (1970), o processo mais apropriado para a determinação de volume é o processo do picnômetro por comparação a ar.

A percentagem de espaços vazios de uma massa não consolidada de materiais tais como silagem, grãos e outros materiais porosos é frequentemente necessária em estudos de fluxo de ar e fluxo de calor e outras aplicações.

Porosidade é definida como a relação entre o volume ocupado pelo ar existente em uma massa granular, e o volume total ocupado pela mesma massa (ALMEIDA, 1979; MOHSENIN, 1970; SOARES & DALPASQUALE, 1986). Assim, após manipulação algébrica simples, a porosidade pode ser expressa por:

$$E = 1 - \frac{\rho_g}{\rho_a} \quad (6)$$

em que

ρ_g = massa específica global, kg/m³

ρ_a = massa específica aparente, kg/m³

E = porosidade da massa de grãos, decimal

A porosidade também pode ser expressa por:

$$E = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100 \quad (7)$$

em que

P_1 = pressão no cilindro 1 do picnômetro

P_2 = pressão no cilindro 2 do picnômetro

A porosidade aumenta com aumento do teor de umidade dos grãos, quantidade de materiais finos na massa e grãos de formato irregular (SOARES & DALPASQUALE, 1986; BROOKER et alii, 1974; MOHSENIN, 1970).

3.2.2.4. Equilíbrio Higroscópico

Teor de umidade de equilíbrio é definido como o teor de umidade (massa de água por unidade de massa total, em base úmida, ou massa de água por unidade de matéria seca, em base seca) que um produto atinge quando é exposto, por um período de tempo suficientemente longo, sob condições controlada de temperatura e umidade do ar (BROOKER et alii, 1974).

A palavra equilíbrio refere-se ao fato de que o produto não troca umidade com o ar que o envolve. Isto ocorre quando as pressões de vapor de água na superfície do grão e no ar são idênticas. O conceito de equilíbrio não significa igualdade no conteúdo de água no produto e no ar. Ao contrário, os grãos possuem, aproximadamente, 10000 vezes mais água que o ar quando estão em equilíbrio (ROA & ROSSI, 1977). Embora haja essa grande diferença, a umidade do ar é muito importante devido aos grandes volumes desse fluido que sempre estão em contato com o produto durante a secagem, manuseio e armazenagem adequados. Quando a pressão de vapor da água no ar for superior à pressão de vapor da água na superfície do produto o ar fornecerá toda a água necessária para estabelecer-se o equilíbrio.

Os teores de umidade de equilíbrio são de grande importância nas seguintes operações (ROA & ROSSI, 1977):

- 1) Secagem - O valor do teor de umidade de equilíbrio, correspondente ao estado termodinâmico do ar, determina o valor final do teor de umidade do produto, se a secagem for realizada totalmente em secador e influi também na taxa de secagem dos grãos.
- 2) Armazenamento - Os grãos atingem o teor de umidade de equilíbrio correspondente à temperatura e umidade relativa médias da região. Esse teor de umidade, a temperatura do grão, a espécie e a qualidade inicial do produto determina o tempo máximo que o grão pode

ser armazenado sem se deteriorar.

- 3) Manuseio - O teor de umidade é importante pelo fato de a maioria das operações de manuseio ocorrer quando o produto tem um teor de umidade em equilíbrio com as condições do meio ambiente. O teor de umidade é a variável que mais influi nas propriedades físicas do produto.

Os valores de teor de umidade de equilíbrio de produtos biológicos dependem principalmente, de três fatores (BROOKER et alii, 1974):

- 1) Umidade relativa do ar
- 2) Temperatura do produto
- 3) Espécie do grão.

A maioria dos produtos biológicos apresenta curvas isotermas de umidade de equilíbrio características de forma sigmoïdal, passando pela origem da abscissa e da ordenada e aumentando grandemente o teor de umidade a partir de valores de umidade relativa acima de 75%.

Basicamente, dois métodos são empregados na obtenção experimental de teores de umidade de equilíbrio (CAVALCANTI MATA et alii, 1984, citando Brooker et alii, 1974 e Hall, 1966).

- 1) Método Estático - Nesse método o grão é levado ao equilíbrio parado, sem agitação do ar ou do produto.
- 2) Método Dinâmico - A atmosfera que rodeia os grãos ou os próprios grãos são movidos mecanicamente.

O gráfico dos dados de umidade de equilíbrio na ordenada e os dados de umidade relativa na abscissa, a uma temperatura constante, num sistema de coordenadas cartesianas, é denominado de isoterma de equilíbrio higroscópico (Hall & Rodrigues-Arias, citados por BACH, 1979).

4. MATERIAIS E METODOS

4.1. Generalidades

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Processamento e Armazenamento de Produtos Vegetais do Departamento de Engenharia Agrícola, utilizando equipamentos do Núcleo de Tecnologia em Armazenagem ambos do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba.

Para a realização dos ensaios, aproximadamente 800 kg de milho híbrido variedade Central Mex foram colhidos manualmente com um teor de umidade em torno de 35% b.u.

O milho, ainda na palha, sofreu secagem natural, originando 4 lotes com os teores de umidade de 32,7; 28,1; 18,8 e 14,1% b.u.

As determinações de umidade foram realizadas pelo método de estufa a 105 ± 1 °C durante 24 horas, de acordo com as REGRAS PARA ANÁLISE DE SEMENTES (1976).

Cada lote com teor de umidade definido foi debulhado mecanicamente utilizando cinco velocidades do cilindro bateador da debulhadora. Para cada lote era obtida, de espigas debulhada manualmente, uma amostra de aproximadamente 3 kg. Assim foram obtidas 24 combinações (5 velocidades e uma testemunha para cada teor de umidade).

Foi utilizada nos ensaios uma debulhadora de marca Nogueira, modelo BC-40, recomendada para trilhar milho, feijão, soja e arroz.

A fonte de potência utilizada para acionamento da debulhadora foi um trator marca Valmet, modelo 73.

A debulhadora operou com rotações médias do cilindro bateador de 594,3; 697,7; 798,7; 897,3 e 1000,0 rpm. A ajustagem das rotações eram realizadas por meio da alavanca de aceleração manual do motor do trator.

Imediatamente após a debulha mecânica as amostras foram colocadas em sacos plásticos duplos, devidamente lacrados e condicionadas em um freezer. Posteriormente determinou-se a porcentagem de danos para cada combinação de umidade e velocidade, bem como o efeito desses danos sobre propriedades físicas dos grãos.

4.2. Índice de Danos

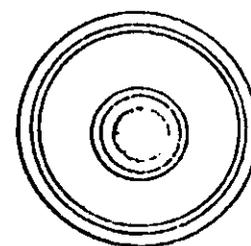
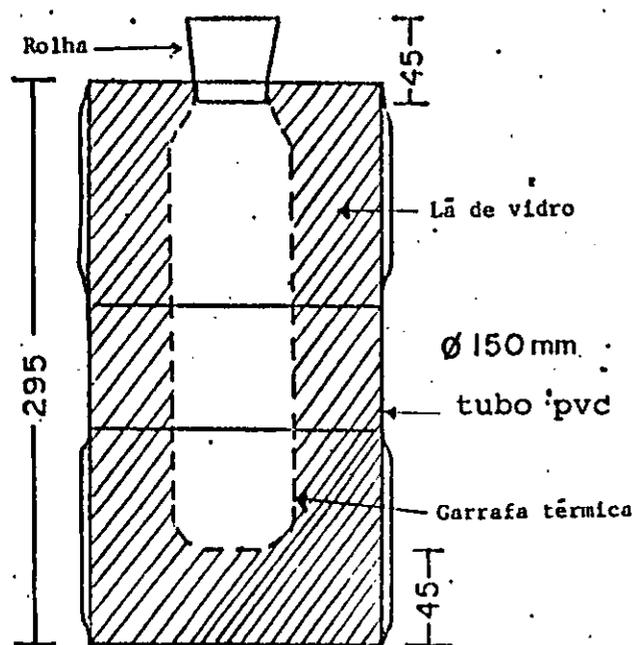
O índice de danos mecânicos foi obtido através de inspeção visual, método frequentemente usado por muitos pesquisadores para avaliação crítica de danos em grãos. Danos mecânicos é definido como a percentagem de sementes fragmentadas e sementes com fendas em suas camadas com relação a sementes sadias. Para cada amostra representativa de cada combinação era obtida uma subamostra de 100g e a percentagem de danos era determinada para cada propriedade física. A média dos danos mecânicos de todas as determinações foi usada como índice de danos para cada tratamento.

4.3. Determinação das Propriedades Físicas

4.3.1. Calor Específico

Para determinação do calor específico dos grãos de milho foi utilizado o método das misturas. Nesse método, o material com massa e temperatura conhecidas, do qual se deseja determinar o calor específico, é colocado em um calorímetro cuja capacidade calorífica seja conhecida contendo uma certa quantidade de água com temperatura conhecida. O calor específico do material é computado pela equação de balanço de calor entre o calor ganho ou perdido pela água e calorímetro e pelo calor perdido ou ganho pelo material. Para essas determinações foi utilizado um calorímetro (Figura 1) construído utilizando-se uma garrafa térmica envolvida por uma camada de fibra de vidro (iso-

lante térmico) colocada dentro de um tubo de PVC. Um termômetro digital foi utilizado para medir a temperatura no interior do calorímetro. Para a determinação do calor específico dos grãos necessita-se determinar primeiro, a capacidade calorífica do calorímetro.



Vista Superior

Calorímetro

Figura 1 - Desenho esquemático do calorímetro.

4.3.1.1. Capacidade Calorífica do Calorímetro

Para se determinar a capacidade calorífica do calorímetro colocou-se 100g de água destilada em seu estado natural dentro do calorímetro. Este foi fechado com uma rolha de borracha acoplada a um termómetro que indicava uma temperatura T_1 no interior do calorímetro. Em seguida colocou-se no recipiente mais 100g de água destilada a uma temperatura média de aproximadamente $2\text{ }^\circ\text{C}$, correspondendo à temperatura T_2 . Agitou-se o calorímetro durante um determinado tempo até que foi alcançada uma temperatura de equilíbrio T_3 . A capacidade calorífica foi determinada pela seguinte equação:

$$c_1 m_1 (T_1 - T_3) + C_{c.a.1} (T_1 - T_3) = c_2 m_2 (T_3 - T_2) \quad (B)$$

em que

$c_1 = c_2 =$ calor específico da água, $1\text{ cal/g }^\circ\text{C}$

$m_1 =$ massa de água em estado natural, 100 g

$m_2 =$ massa de água fria, 100 g

$T_1 =$ temperatura da água em estado natural, $^\circ\text{C}$

$T_2 =$ temperatura da água fria, $^\circ\text{C}$

$T_3 =$ temperatura de equilíbrio da mistura, $^\circ\text{C}$

$C_{c.a.1} =$ capacidade calorífica do calorímetro, $\text{cal}/^\circ\text{C}$

4.3.1.2. Calor Específico do Milho

Conhecidas a capacidade calorífica do calorímetro ($C_{c.a.1}$) e a temperatura de equilíbrio T_3 , colocou-se uma amostra de milho com uma temperatura T_4 no calorímetro e agitou-se até que um novo equilíbrio fosse alcançado a uma temperatura T_5 . O calor específico do milho foi determinado pelo seguinte balanço de energia:

$$m_2 c_2 (T_4 - T_5) = c_1 m_1 (T_5 - T_3) + C_{c.a.1} (T_5 - T_3) \quad (9)$$

em que

c_1 = calor específico da água, 1 cal/g °C

m_2 = massa de grãos, 100 g

c_2 = calor específico dos grãos, cal/g °C

T_4 = temperatura dos grãos de milho, °C

T_5 = temperatura de equilíbrio da mistura, °C

4.3.2. Condutividade Térmica

O método do cilindro infinito foi utilizado para a determinação da condutividade térmica dos grãos de milho. Nesse método, a amostra é confinada em um cilindro (Figura 2), que por ser de comprimento grande comparado com o seu diâmetro faz com que os efeitos das extremidades sobre o fluxo radial de calor sejam desprezíveis. Uma fonte central fornece calor, que é transmitido radialmente através do material. A condutividade térmica foi calculada pela expressão:

$$K = \frac{P \ln(r_2/r_1)}{2\pi L(T_1 - T_2)} \quad (10)$$

em que

K = condutividade térmica, W/m °C

P = potência dissipada pela fonte de calor, W

L = comprimento do cilindro, m

T₁ = temperatura do produto na posição radial r₁, °C

T₂ = temperatura do produto na posição radial r₂, °C

r₁, r₂ = distâncias radiais, m

A condutividade térmica aqui referida foi determinada para uma amostra representativa da massa de grãos em estudo, incluindo, portanto, os espaços intergranulares.

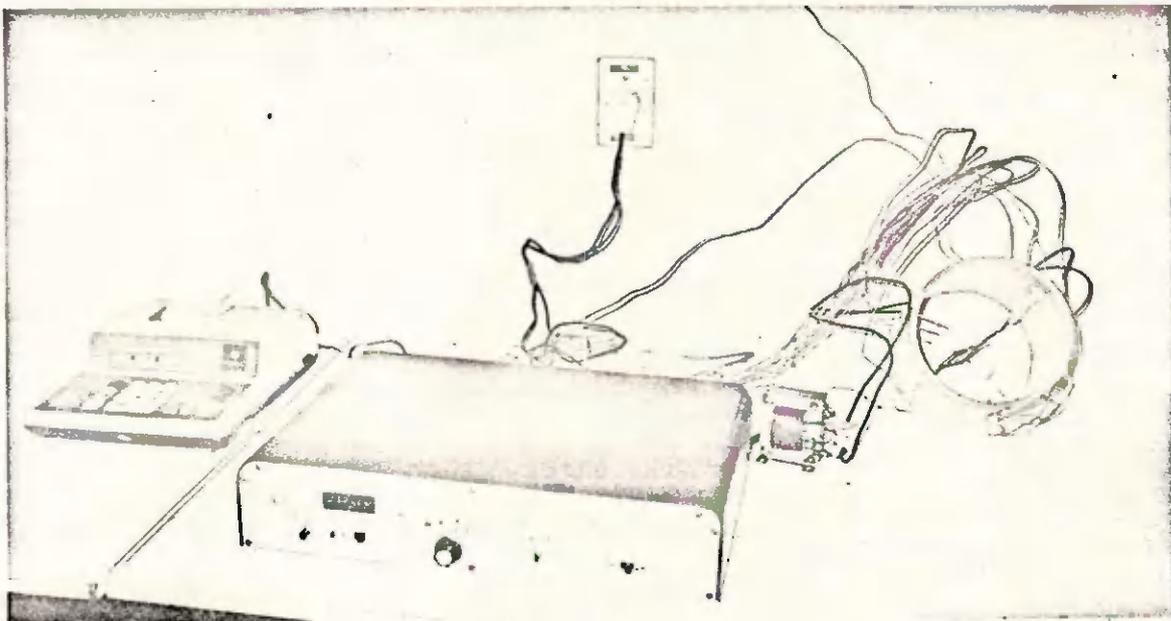


Figura 2 - Aparato para determinação da Condutividade Térmica.

4.3.3. Massa Específica

A massa específica volumétrica, isto é, aquela da massa de grãos como um todo, é a que nos interessa nesse trabalho. Um picnômetro de comparação a ar foi utilizado para determinação da massa específica. Nesse caso o picnômetro foi utilizado apenas para a determinação do volume da amostra de milho.

Esta foi pesada em uma balança de precisão e a massa específica foi determinada simplesmente dividindo-se o peso (massa) pelo volume da amostra:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (11)$$

em que

ρ = massa específica do grão, kg/m³

m = peso (massa) de grãos, kg

V = volume ocupado pela massa de grãos, m³

4.3.4. Porosidade

A porosidade de uma massa de grãos é a percentagem de espaços intergranulares ocupados pelo ar. Para sua determinação utilizou-se um picnômetro de comparação a ar desenvolvido pelo Núcleo de Tecnologia em Armazenagem (NTA). Esse aparelho (Figura 3) é constituído basicamente por dois cilindros de volumes conhecidos. Os cilindros são intercomunicáveis através de tubulação

acoplada a uma placa de vedação dos dois cilindros. Coloca-se grãos em um dos cilindros (número 2) até seu completo enchimento. Com a válvula de intercomunicação fechada coloca-se a placa de vedação sobre os dois cilindros, pressionando-a através de um mecanismo de prensa para que a vedação seja perfeita. Posteriormente aplica-se, com auxílio de um compressor, uma pressão P_1 no cilindro número 1 (vazio). Abre-se em seguida a válvula de intercomunicação e faz-se a leitura da pressão P_2 . A porosidade é então determinada pela seguinte expressão:

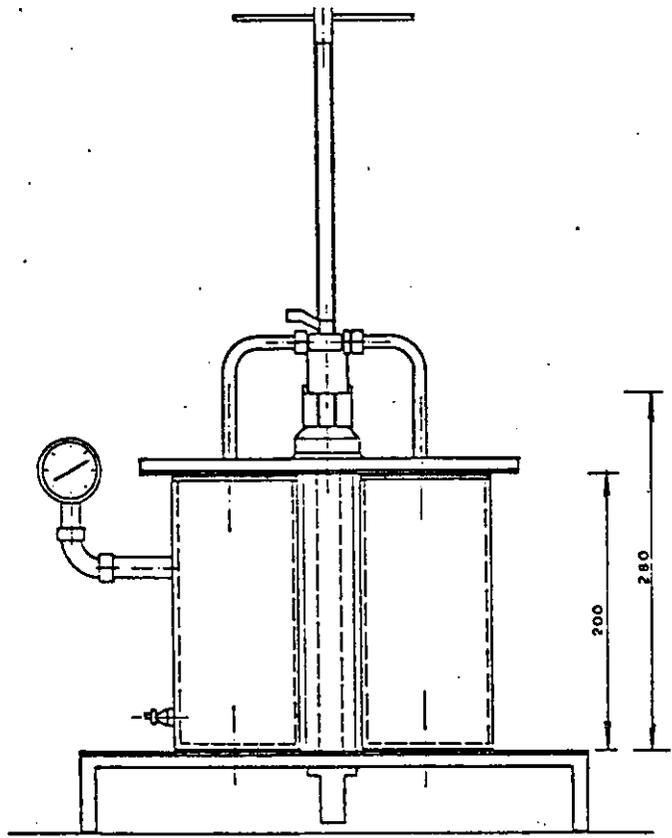
$$E = \frac{P_1 - P_2}{P_2} \times 100 \quad (12)$$

em que

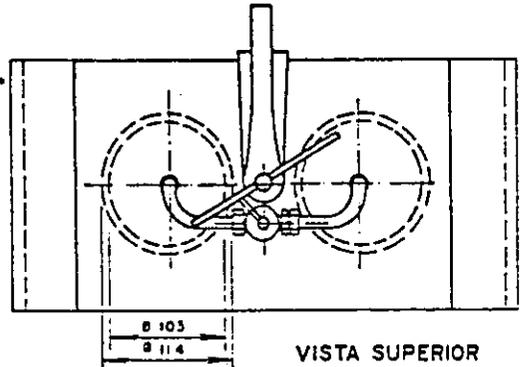
E = porosidade, %

P_1 = pressão no cilindro número 1 com a válvula fechada

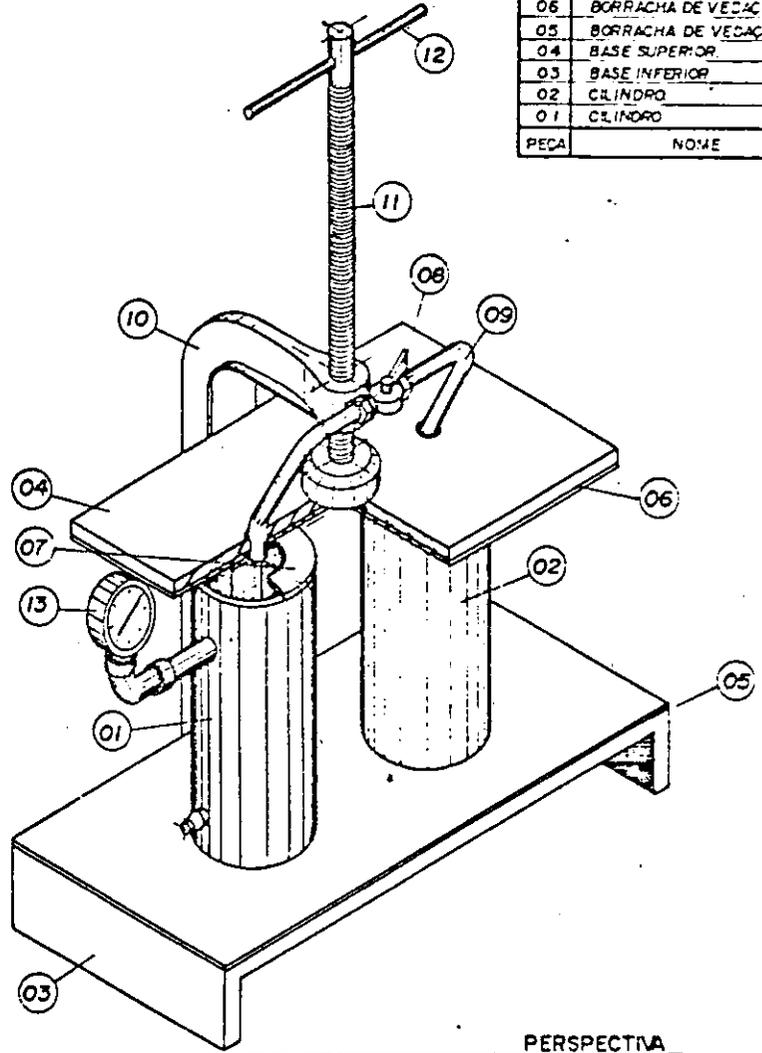
P_2 = pressão nos cilindros 1 e 2 após abertura da
válvula



VISTA FRONTAL



VISTA SUPERIOR



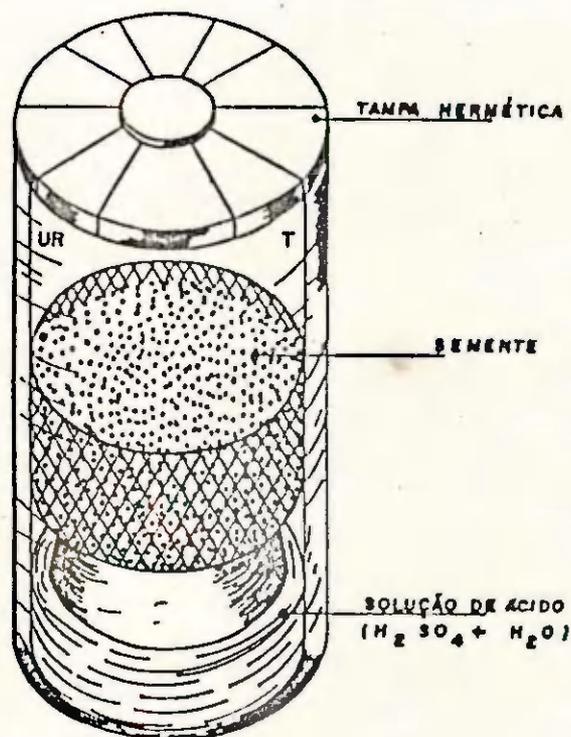
PERSPECTIVA

13	MANOMETRO
12	MANIPULO
11	FUSO
10	GRAMPO
09	TUBO DE PASSAGEM DE AR
08	VALVULA DE ADMISSAO DE AR
07	BORRACHA DE VEDACAO
06	BORRACHA DE VEDACAO (SUPI)
05	BORRACHA DE VEDACAO (INF)
04	BASE SUPERIOR
03	BASE INFERIOR
02	CILINDRO
01	CILINDRO
PEÇA	NOME

Figura 3 - Picnômetro de Comparação a Ar

4.3.5. Curvas de Equilíbrio Higroscópico

Os teores de umidade de equilíbrio dos grãos de milho foram determinados utilizando-se o método das soluções de ácido sulfúrico. Os testes foram conduzidos à temperatura de $36 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ e a uma faixa de umidade relativa de 30 a 90%. Portanto foram efetuados 336 testes ao todo (1 temperatura x 7 umidades relativas x 2 repetições x 6 níveis de danos mecânicos x 4 níveis de teores de umidade (Figura 4).



T = TEMPERATURA
UR = UMIDADE RELATIVA

Figura 4 - Recipiente de vidro hermético para a determinação de umidade de equilíbrio.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises dos dados experimentais foram divididas em 4 partes. Na primeira, avaliou-se os efeitos da velocidade do cilindro bateador da debulhadora e do teor de umidade dos grãos sobre os índices de danos mecânicos; na segunda, avaliou-se o efeito de danos mecânicos sobre calor específico, condutividade térmica, massa específica, porosidade e umidade de equilíbrio higroscópico; na terceira, estudou-se o efeito do teor de umidade sobre tais propriedades físicas e, na quarta, analisou-se os efeitos do índice de danos e do teor de umidade sobre o equilíbrio higroscópico de grãos de milho.

5.1. Efeitos da Velocidade do Cilindro da Debulhadora e do Teor de Umidade Sobre os Índices de Danos Mecânicos

Como era esperado, houve tendência do aumento do índice de danos com o aumento da velocidade do cilindro da debulhadora e do teor de umidade. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Variação dos índices de danos mecânicos (percentagem) de acordo com a velocidade do cilindro da debulhadora e com o teor de umidade do produto.

Velocidade do Cilindro (rpm)	Teores de Umidade (% b.u.)			
	14,1	18,8	28,1	32,7
594,3	17,4	17,5	21,0	33,7
697,7	20,0	13,4	25,4	35,7
798,7	18,1	17,3	26,2	36,8
897,3	17,5	15,6	27,1	39,8
1000,0	18,1	18,0	27,4	46,5

Observa-se que, de uma maneira geral, os índices de danos foram acentuados, principalmente, para teores de umidade mais elevados o que está de acordo com CARVALHO & NAKAGAWA (1979). Eles concluíram que a injúria mecânica que ocorre com teor de umidade acima de 18% é elevada, e ocorre principalmente por amassamento do grão. Pode-se observar também que os índices de danos mecânicos obtidos com o teor de umidade de 14,1% b.u. foram um pouco maiores do que aqueles obtidos à 18,8% b.u., o que, também, está de acordo com CARVALHO & NAKAGAWA (1979). Segundo eles, grãos com teores de umidade abaixo de 12 - 14% são mais susceptíveis aos danos mecânicos por quebraamento.

Com relação à velocidade do cilindro batedor da debulhadora, verifica-se que, de uma maneira geral, o índice de danos aumentou com um aumento da velocidade. Todavia, observa-se uma oscilação entre alguns índices de danos, o que, provavelmente, deve-se ao efeito da interação do teor de umidade com a velocidade do cilindro batedor da máquina.

Através de regressão múltipla foi obtida a seguinte equação que relaciona índice de danos mecânicos com o teor de umidade dos grãos e com a velocidade de rotação do cilindro da máquina:

$$ID = a_0 + a_1U + a_2U^2 + a_3U \times v + a_4U^2 \times v^2 \quad (13)$$

$$591 \leq v \leq 1000 \text{ rpm}$$

$$14,1 \leq U \leq 32,7 \% \text{ b.u.}$$

$$R^2 = 0,9782$$

$$QHR = 2,4126$$

Os coeficientes a_1 da Equação (13) encontram-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficientes de regressão múltipla para a relação entre índice de danos mecânicos com teor de umidade e velocidade do cilindro, Equação (13).

Índice i	a _i	t-student	Probabilidade de t
0	56,8687		
1	-3,6981	-6,070	0,00002
2	0,09482	7,650	0,00000
3	-0,00083	-1,924	0,07353
4	3,2070x10 ⁻⁸	3,373	0,00419

Os resultados obtidos estão de acordo com os de COAN (1986) que, ao estudar o desempenho de uma trilhadora de cereais marca Nogueira, modelo BC-40, observou que, de uma maneira geral, o dano mecânico tendeu a aumentar com o acréscimo da velocidade tangencial do cilindro batedor.

A Figura 5 mostra a variação do índice de danos com o teor de umidade dos grãos.

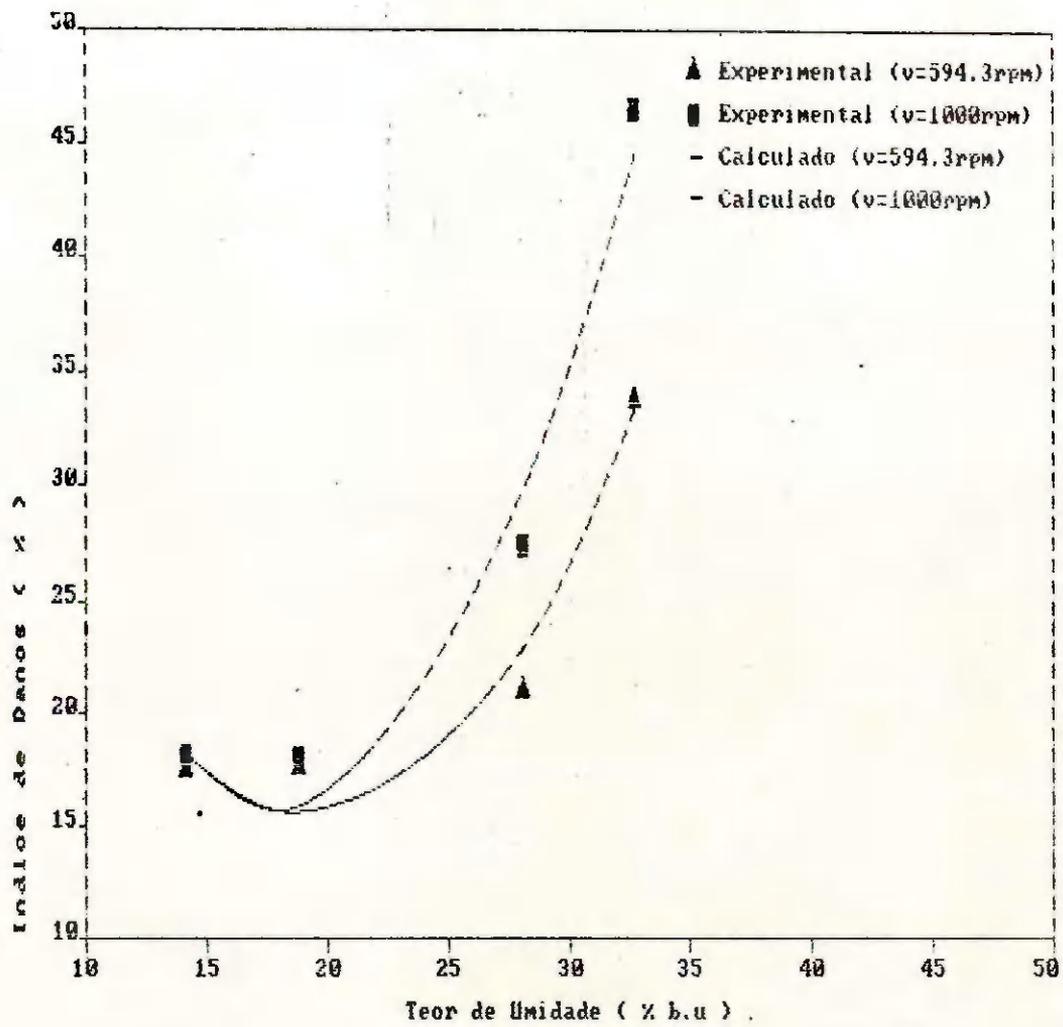


Figura 5 - Índice de danos mecânicos de acordo com o teor de umidade dos grãos para duas velocidades do cilindro batedor da debulhadora.

5.2. Efeito de Danos Mecânicos Sobre Calor Específico, Condutividade Térmica, Massa Específica e Porosidade

De uma maneira geral, os efeitos dos danos mecânicos sobre o calor específico, condutividade térmica, massa específica e porosidade dos grãos de milho foram discretos (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

Analisando-se as Tabelas 3, 4, 5 e 6 verifica-se que o efeito dos danos mecânicos sobre o calor específico foi desprezível. Isto, provavelmente, deve-se ao fato de que o calor específico de um corpo, é uma grandeza física que depende do material que o constitui, isto é, depende da natureza e da composição do material. Os danos mecânicos afetam as estruturas internas e externas de produtos agrícolas. Portanto pode-se presumir que os mesmos não deve afetar a natureza e a composição química de materiais biológicos e, conseqüentemente, o calor específico desses materiais.

Os dados de condutividade térmica apresentam uma pequena oscilação de acordo com o índice de danos, revelando que os danos mecânicos pouco afetaram a condutividade térmica do produto. A variação da condutividade térmica que ocorreu entre uma e outra velocidade de rotação do cilindro batedor, não chegou a ser significativa. Isto sugere que a metodologia empregada na determinação da condutividade térmica deve ser revista uma vez que a literatura não dispõe de trabalhos relacionando danos mecânicos com propriedades físicas.

Os valores da porosidade e da massa específica dos grãos de milho para várias velocidades do cilindro da máquina, não apresentaram variação significativa com os índices de danos (Tabelas 3, 4, 5 e 6).

Tabela 3 - Calor específico, condutividade térmica, porosidade e massa específica de milho debulhado a várias rotações do cilindro batedor da debulhadora para um teor de umidade de 32,7% b.u. (v=0, corresponde à testemunha).

Velocidade do Cilindro (rpm)	Índice de Danos (%)	Calor Específico (J/kg °C)	Condutividade Térmica (W/m °C)	Porosidade (%)	Massa Específica (kg/m ³)
0	0	1651,0	0,380	50,6	627,8
594,3	33,7	1864,9	0,469	51,5	657,4
697,7	35,7	1847,7	0,440	49,2	669,2
798,7	36,8	1922,6	0,478	50,6	666,3
897,3	39,8	1917,3	0,381	49,2	672,2
1000,0	46,5	1849,8	0,396	49,2	675,2
Média		1842,3	0,422	50,0	661,4
Desvio Padrão (σ)		90,66	3,86x10 ⁻²	0,901	16,00
Coef. de Variação (CV)		4,92%	9,15%	1,801%	2,42%
Erro Padrão da Média (μ)		40,54	1,727x10 ⁻²	0,403	7,16

Tabela 4 - Calor específico, condutividade térmica, porosidade e massa específica de milho debulhado a várias rotações do cilindro bateador da debulhadora para um teor de umidade de 28,1% b.u. (v=0, corresponde à testemunha).

Velocidade do Cilindro (rpm)	Índice de Danos (%)	Calor Específico (J/kg °C)	Condutividade Térmica (W/m °C)	Porosidade (%)	Massa Específica (kg/m ³)
0	0	1920,1	0,335	48,5	651,5
594,3	21,0	1979,6	0,377	52,3	633,7
697,7	25,4	2073,3	0,361	53,8	639,6
798,7	26,2	2113,9	0,357	52,3	625,4
897,3	27,1	1952,4	0,385	53,8	627,8
1000,0	27,4	1895,8	0,349	53,8	627,8
Média		1989,2	0,361	52,4	634,3
Desvio Padrão (σ)		79,13	1,667x10 ⁻²	1,87	9,02
Coef. de Variação (CV)		3,98%	4,62%	3,58%	1,42%
Erro Padrão da					
Médias (μ)		3,39	7,455x10 ⁻³	0,84	4,03

Tabela 5 - Calor específico, condutividade térmica, porosidade e massa específica de milho debulhado a várias rotações do cilindro batedor da debulhadora para um teor de umidade de 18,8% b.u. ($v=0$, corresponde à testemunha).

Velocidade do Cilindro (rpm)	Índice de Danos (%)	Calor Específico (J/kg °C)	Condutividade Térmica (W/m °C)	Porosidade (%)	Massa Específica (kg/m ³)
0	0	1802,5	0,448	48,5	710,7
594,3	17,5	1683,2	0,402	50,8	704,8
697,7	13,4	1879,1	0,408	48,5	716,6
798,7	17,3	1521,2	0,446	50,0	716,6
897,3	15,6	1712,1	0,344	48,5	718,6
1000,0	18,0	1674,4	0,389	48,5	722,5
Média		1712,1	0,406	49,1	715,0
Desvio Padrão (σ)		11,656	$3,59 \times 10^{-2}$	0,92	5,73
Coef. de Variação (CV)		6,52%	8,71%	1,88%	0,80%
Erro Padrão da Média (μ)		49,93	0,0158	0,41	2,56

Tabela 6 - Calor específico, condutividade térmica, porosidade e massa específica de milho debulhado a várias rotações do cilindro batedor da debulhadora para um teor de umidade de 14,1% b.u. (v=0, corresponde à testemunha).

Velocidade do Cilindro (rpm)	Índice de Danos (%)	Calor Específico (J/kg °C)	Condutividade Térmica (W/m °C)	Porosidade (%)	Massa Específica (kg/m ³)
0	0	1978,3	0,378	45,7	740,3
594,3	17,4	1971,6	0,358	50,8	710,7
697,7	20,0	2019,3	0,344	50,8	722,5
798,7	18,1	1773,2	0,437	48,5	734,4
897,3	17,5	1802,1	0,436	50,0	722,5
1000,0	18,1	1822,2	0,422	47,8	740,3
Média		1894,45	0,395	48,9	728,5
Desvio Padrão (σ)		97,4856	3,818x10 ⁻²	1,83	10,82
Coef. de Variação (CV)		5,15%	9,67%	3,73%	11,49%
Erro Padrão da Média s (μ)		43,60	1,708x10 ⁻²	0,82	4,84

Possivelmente, os danos mecânicos sofridos pelos grãos de milho não foram suficientes para descaracterizar suas formas e/ou tamanhos ao ponto de afetar significativamente a porosidade e a massa específica. Provavelmente se os danos mecânicos tivessem provocado rupturas na maioria dos grãos testados haveria formação de fragmentos finos suficientes para afetar a porosidade e a massa específica dos grãos.

5.3. Efeito do Teor de Umidade Sobre Calor Específico, Condutividade Térmica, Massa Específica e Porosidade.

As médias do calor específico, condutividade térmica, massa específica e porosidade para vários teores de umidade estão apresentadas na Tabela 7.

A variação destas propriedades físicas com o teor de umidade não coincide com as conclusões de ALMEIDA (1979) que, num estudo sobre as propriedades físicas de amêndoas de cacau, constatou que o calor específico, a condutividade térmica e a massa específica aumentam linearmente com o teor de umidade e a porosidade decresce linearmente com o aumento do teor de umidade.

SOARES & DALPASQUALE (1986), no estudo de algumas propriedades físicas de grãos de soja, observaram que não ocorreu variação da massa específica global da massa de grãos de soja para teores de umidade menores que 0,17, decimal b.s. Concluíram, também, que a porosidade da massa de grãos pode ser considerada função apenas da massa específica global, em virtude da não

variação da massa específica aparente.

Tabela 7 - Variação das médias de propriedades físicas de grãos de milho de acordo com o teor de umidade do produto.

Teor de Umidade (% b.u.)	Propriedades			
	Calor Es- pecífico (J/Kg °C)	Condu- tividade Térmica (W/m °C)	Porosidade (%)	Massa Específica (kg/m ³)
14,1	2,065	0,395	48,9	728,5
18,8	1,719	0,406	49,1	715,0
28,1	2,012	0,361	52,4	634,3
32,7	1,821	0,422	50,0	661,4
Média	1,904	0,396	50,1	624,8
Desvio Padrão (σ)	0,1403	$2,237 \times 10^{-2}$	1,391	38,47
Variância (σ^2)	0,0167	$5,005 \times 10^{-4}$	1,935	1479,885
Coef. de Variação (CV)	7,37%	5,65%	2,77%	5,62%
Erro Padrão da Média (μ)	0,08098	$1,292 \times 10^{-2}$	0,803	22,21

A não significância dos efeitos do teor de umidade sobre essas propriedades físicas foi inesperada e aparentemente deveu-se a uma série de problemas ocorridos durante a execução dos experimentos. É possível que o longo período que as amostras ficaram acondicionadas no freezer as tenha comprometido de alguma forma. As constantes faltas de energia elétrica durante o referido período ocasionou um princípio de fermentação de quase todas as amostras de milho o que, provavelmente, influenciou nos resultados obtidos.

5.4. Efeitos do Índice de Danos e do Teor de Umidade Sobre Equilíbrio Higroscópico de Grãos de Milho.

Os dados de teor de umidade de equilíbrio dos grãos de milho de acordo com o índice de danos, velocidade do cilindro batedor da debulhadora, teor de umidade dos grãos e várias umidades relativas, para uma temperatura de 36 ± 1 °C, são apresentados nas Tabelas 8, 9, 10 e 11.

Verifica-se, como era de se esperar, que a umidade de equilíbrio higroscópico média cresceu com o aumento da umidade relativa para os 4 teores de umidade dos grãos.

Dependendo do teor de umidade inicial da amostra e da umidade relativa, houve adsorção em alguns casos e dessorção em outros.

Tabela 8 - Teores de umidade de equilíbrio de grãos de milho a várias velocidades de rotação do cilindro batedor da debulhadora para um teor de umidade de 32,7% b.u., várias umidades relativas e temperatura de 36 ± 1 °C. (Velocidade=0, corresponde à testemunha).

Índice de Danos (%)	Velocidade do Cilindro (rpm)	Umidade Relativa de Equilíbrio (%)							
		38,9	44,7	59,1	65,6	69,7	74,4	87,3	
0	0	4,9	6,2	6,8	9,0	10,8	13,7	29,4	
33,7	594,3	6,3	8,0	9,1	10,1	13,0	15,8	30,9	
35,7	679,7	5,8	7,3	8,2	10,0	12,0	15,2	28,3	
36,8	798,7	6,5	7,2	8,2	9,6	12,4	14,1	27,0	
39,8	897,3	5,7	7,0	7,4	9,9	11,7	15,0	27,5	
46,5	1000,0	8,0	9,2	8,9	10,8	13,5	16,3	29,0	
Média *		6,5	7,7	8,4	10,8	12,5	15,3	28,5	

* A média não inclui valores para a velocidade = 0

Tabela 9 - Teores de umidade de equilíbrio de grãos de milho a várias velocidades de rotação do cilindro batedor da debulhadora para um teor de umidade de 28,1% b.u., várias umidades relativas e temperatura de 36 ± 1 °C. (Velocidade = 0, corresponde à testemunha).

Índice de Danos (%)	Velocidade do Cilindro (rpm)	Umidade Relativa de Equilíbrio (%)							
		38,9	44,7	59,1	65,6	69,7	74,4	87,3	
0	0	7,7	6,8	7,6	10,0	11,4	14,1	27,1	
21,0	594,3	7,3	9,1	8,1	8,4	11,4	13,8	28,1	
25,4	697,7	6,0	6,6	8,0	9,3	12,0	14,6	28,1	
26,2	798,7	7,7	6,4	7,7	8,7	11,9	13,9	29,1	
27,1	897,3	4,8	7,4	6,6	9,0	11,5	14,6	25,4	
27,4	1000,0	5,6	7,2	8,1	9,7	11,6	14,3	26,8	
Média *		6,3	7,3	7,7	9,0	11,7	14,2	27,5	

* A média não inclui valores para velocidade = 0

Tabela 10 - Teores de umidade de equilíbrio de grãos de milho a várias velocidades de rotação do cilindro batedor da debulhadora para um teor de umidade de 18,8% b.u., várias umidades relativas e temperatura de 36 ± 1 °C. (Velocidade = 0, corresponde à testemunha).

Índice de Danos (%)	Velocidade do Cilindro (rpm)	Umidade Relativa de Equilíbrio (%)						
		38,9	44,7	59,1	65,6	69,7	74,4	87,3
0	0	6,8	7,2	7,8	8,4	10,4	13,3	25,0
17,5	594,3	6,3	6,0	6,2	8,1	10,2	13,3	25,3
13,4	697,7	5,7	6,1	7,4	7,5	9,6	12,9	22,8
17,3	798,7	6,7	7,5	7,2	8,4	10,5	15,6	24,3
15,6	897,3	5,9	7,3	6,8	8,2	10,6	13,4	26,1
18,0	1000,0	6,1	6,8	7,4	8,4	10,5	14,0	27,1
Média *		6,1	6,7	7,0	8,1	10,3	13,9	25,1

* A média não inclui valores para velocidade = 0

Tabela 11 - Teores de umidade de equilíbrio de grãos de milho a várias velocidades de rotação do cilindro bateador da debulhadora para um teor de umidade de 14,1% b.u., várias umidades relativas e temperatura de 36 ± 1 °C. (Velocidade = 0, corresponde à testemunha).

Índice de Danos (%)	Velocidade do Cilindro (rpm)	Umidade Relativa de Equilíbrio (%)							
		38,9	44,7	59,1	65,6	69,7	74,4	87,3	
0	0	6,0	5,5	5,8	8,3	12,3	13,0	27,1	
17,4	594,3	4,3	6,5	6,3	8,5	9,8	13,1	29,0	
20,0	697,7	5,8	5,5	7,8	8,1	10,3	13,4	27,9	
18,1	798,7	5,1	5,5	6,0	7,5	12,1	13,3	26,9	
17,5	897,3	5,6	6,0	6,9	7,5	11,7	13,0	26,2	
18,1	1000,0	5,9	6,1	6,7	8,4	10,4	13,5	24,1	
Média *		5,3	5,9	6,7	8,0	10,9	13,2	26,8	

A média não inclui valores para velocidade = 0

Observa-se que, exceto para teor de umidade de 32,7%, não houve variação significativa dos teores médios de umidade de equilíbrio de grãos debulhados manualmente e grãos debulhados mecanicamente. Observa-se também alguns valores inconsistentes. É possível que variação de umidade relativa tenha ocorrido devido a recipientes não perfeitamente herméticos. Além disso o estado de fermentação das amostras aliado à variação de umidade relativa pode ter afetado os resultados.

As Figuras 6, 7, 8 e 9, mostram o comportamento das curvas médias de equilíbrio higroscópico para quatro teores de umidade inicial do produto. O comportamento dessas curvas apresentam-se de maneira normal com a forma sigmoidal esperada.

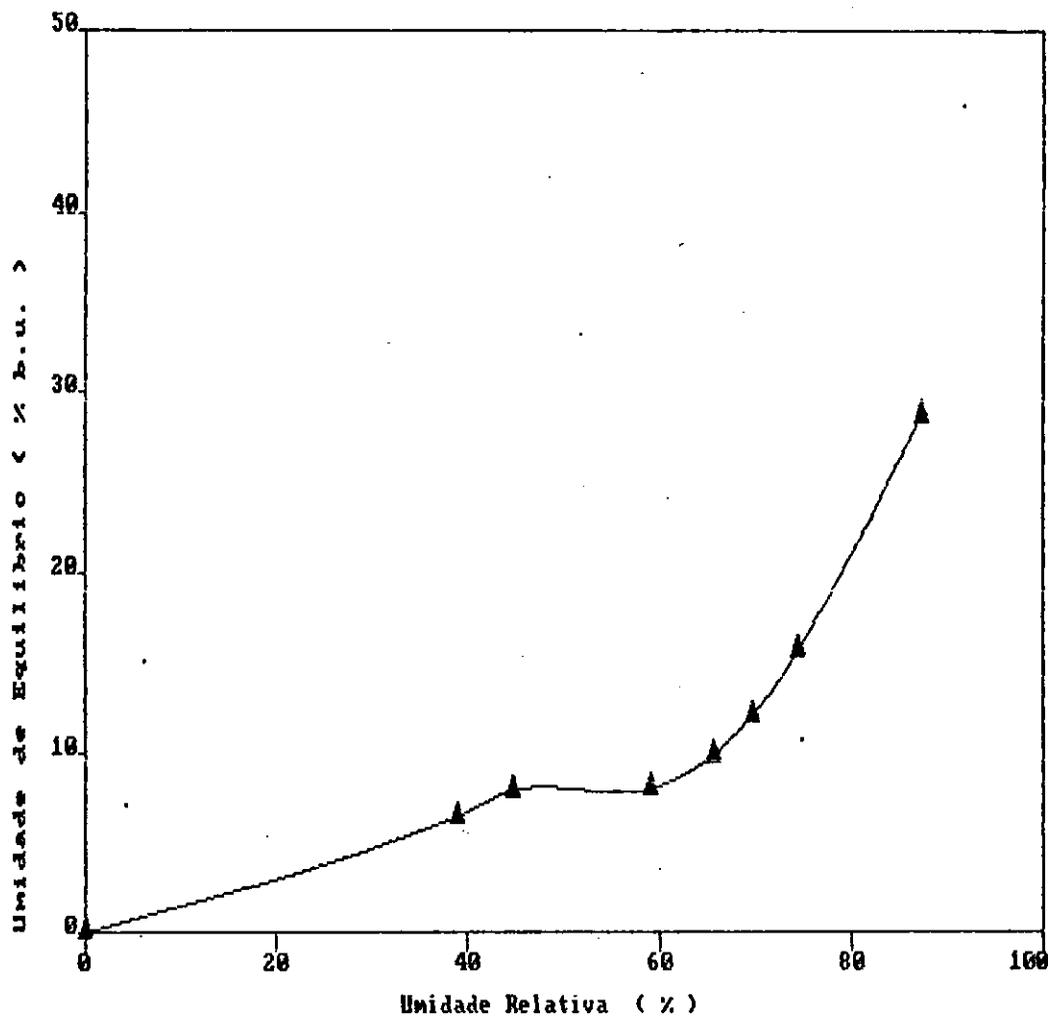


Figura 6 - Curva da umidade de equilíbrio de grãos de milho de acordo com a umidade relativa e um teor de umidade inicial do produto de 32,7% b.u.

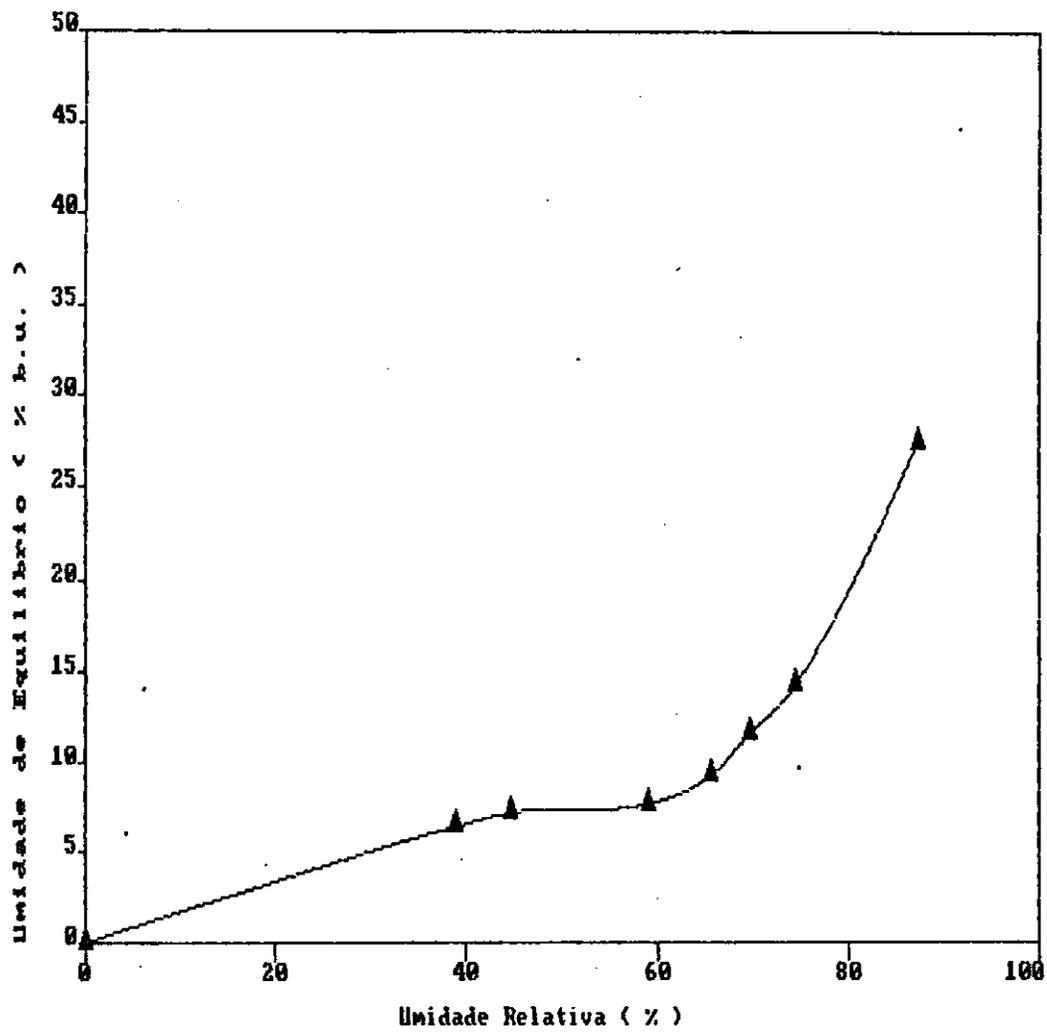


Figura 7 - Curva da umidade de equilíbrio de grãos de milho de acordo com a umidade relativa e um teor de umidade inicial do produto de 28,1% b.u.

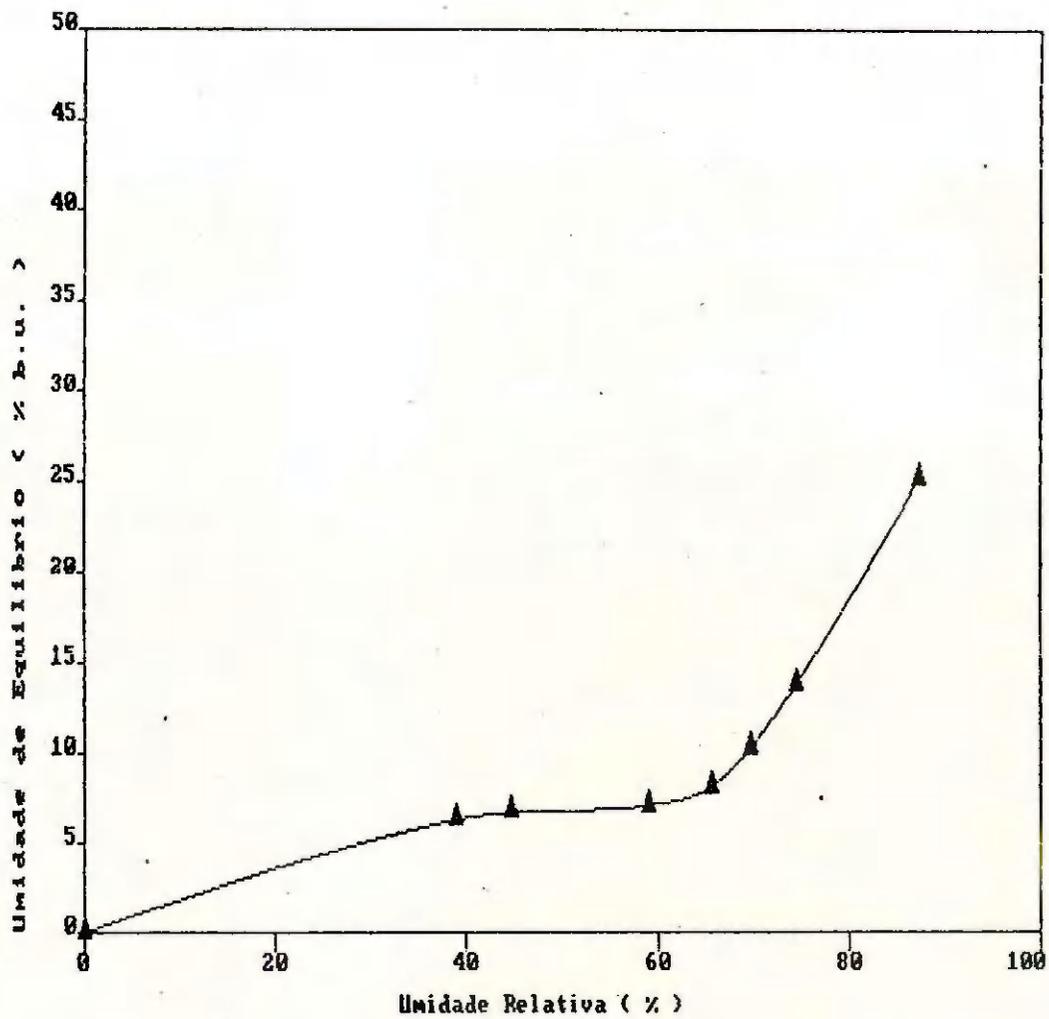


Figura 8 - Curva da umidade de equilíbrio de grãos de milho de acordo com a umidade relativa e um teor de umidade inicial do produto de 18,8% b.u.

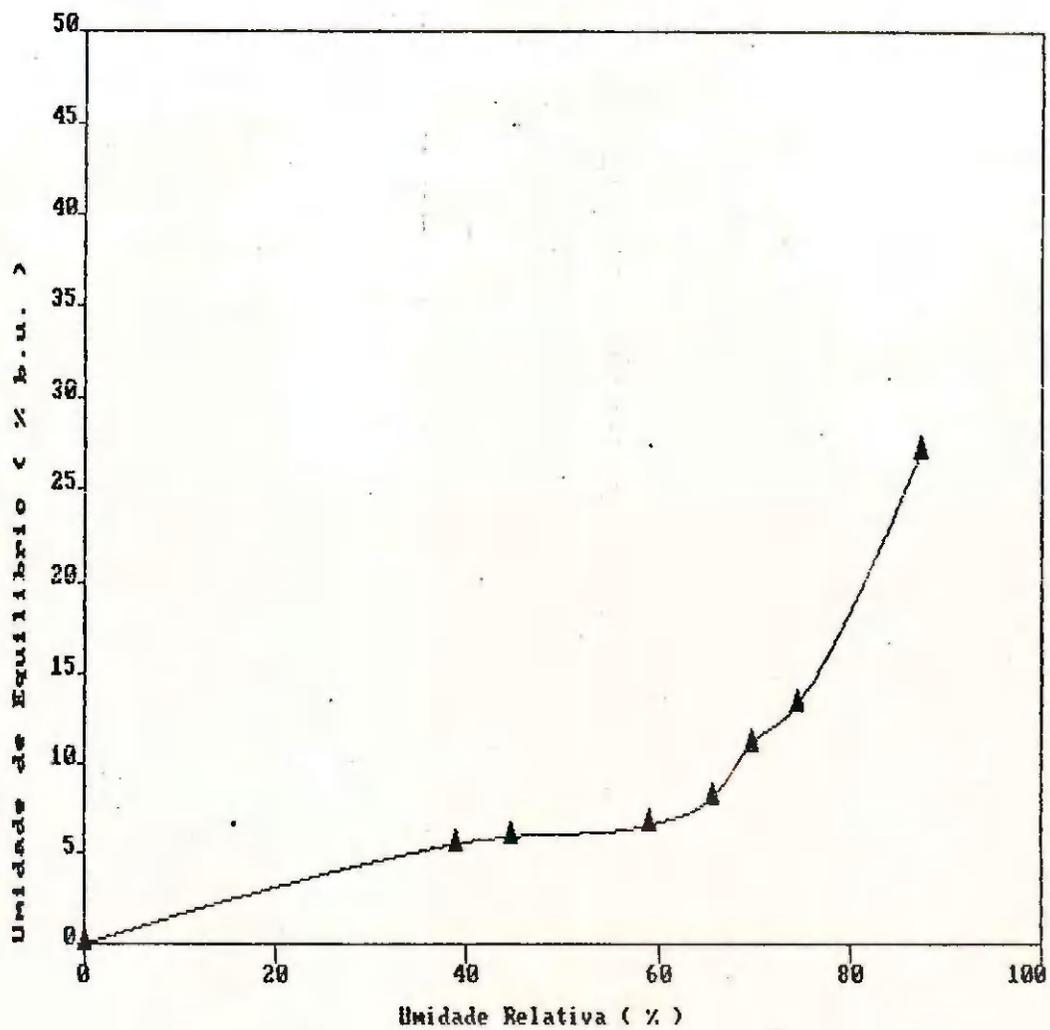


Figura 9 - Curva da umidade de equilíbrio de grãos de milho de acordo com a umidade relativa e um teor de umidade inicial do produto de 14,1% b.u.

6. CONCLUSOES

Para as condições experimentais em que este trabalho foi realizado e com os dados obtidos, concluiu-se que:

1. De um modo geral, houve tendência do aumento do índice de danos mecânicos com o aumento da velocidade de rotação do cilindro batedor da debulhadora e com o aumento do teor de umidade inicial do produto.

2. Não houve efeito significativo de danos mecânicos sobre calor específico, condutividade térmica, massa específica e porosidade dos grãos.

3. Calor específico, condutividade térmica, massa específica e porosidade, oscilaram com o aumento do teor de umidade. Essas oscilações não foram demasiadamente grande. Em média não houve efeito significativo do teor de umidade sobre estas propriedades. Este fato é incomum e não encontra suporte na literatura consultada. Por outro lado, não foi encontrado na literatura trabalhos que relacionassem, ao mesmo tempo, o efeito de danos mecânicos e do teor de umidade sobre propriedades físicas de grãos de milho.

4. Não houve variação significativa dos teores médios de umidade de equilíbrio entre grãos debulhados manualmente e grãos debulhados mecanicamente, exceto para o caso de teor de umidade inicial do produto de 32,7% b.u.

7. SUGESTOES.

Devido a relevância deste trabalho, sugere-se novas pesquisas relacionando danos mecânicos com propriedades físicas de produtos biológicos, de modo que se disponha de parâmetros que possam confirmar os dados aqui apresentados.

B. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ALMEIDA, B.V. Determinação de propriedades físicas de amêndoas de cacau (Theobroma cacao, L.). Viçosa-MG, UFV, 1979. 70p. (Tese Mestrado).
- ARAÚJO, E.F.; SILVA, R.F.; SILVA, J.S.; SEDIYAMA, C.S. Influência da debulha e do teor de umidade na germinação e no vigor de sementes de feijão. Revista Brasileira de Sementes, v. 8, n.1, p. 113-122, 1986.
- BACH, D.B. Curvas de equilíbrio higroscópico de feijão preto. Viçosa-MG, UFV, 1979. 39p. (Tese Mestrado).
- BASTOS, E. Guia para o cultivo do milho. São Paulo, Icone, 1987. 190p.
- BRASIL. Regras para análise de sementes. Ministério da Agricultura, Brasília-DF., 1976. 188p.
- BROOKER, D.R.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. Drying cereal grains. Westport, Conecticut. AVI PUBLISHING COMPANY, 1974. 265p.
- BAUDET, L.; POPINIGIS, F.; PESKE, S. Danificações mecânicas em sementes de soja (Glycine max L. Merril) transportadas por um sistema elevador - secador. Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa-MG, v. 3, n. 4, p. 29-37, dez. 1978.

CAHARGO, C.P.; VECHI, C. Pesquisa e tecnologia de sementes. IN: ENCONTRO NACIONAL DE TÉCNICOS EM ANÁLISE DE SEMENTES, 2, 1971. Porto Alegre. Anais do II Encontro Nacional de Técnicos em Análise de Sementes. Porto Alegre-RS, 1971. p. 151-186.

CARVALHO, N.M. & NAKAGAWA, J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. 3a. Ed., Campinas-SP Fundação Cargill, 1979. 424p.

CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; FERNANDES FILHO, J.G. Determinação da porosidade de sementes de mamona (Ricinus communis L.) e algaroba (Prosopis juliflora (SW) DC). Revista Nordestina de Armazenagem, Campina Grande-PB, v.1, n.1, p. 55-64, 1984.

CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; MARTINS, J.H.; ARAGÃO, R.F. Estudo da higroscopicidade das vagens e sementes de algaroba (Prosopis juliflora (SW) DC). Revista Nordestina de Armazenagem, Campina Grande-PB, v.1, n.1, p. 33-54, 1984.

CHOWDHURY, M.A.; BUCHELE, W.F. Development of a numerical damage index for critical evaluation of mechanical damage of corn. Transaction of the ASAE, St. Joseph, Michigan, n. J-8079, p. 428-432, 1976.

COAN, O.; BEDUSHI, L.C.; JUNIOR, S.N. Desempenho de uma trilhadora de cereais marca Nogueira; modelo BC-40, operando com milho (Zea mays, L.) cultivar HMD - 7974. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRICOLA, 15, 1986. São Paulo-SP. Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. São Paulo, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. 1986. p. 40-45.

COSTA, N.P.; MESQUITA, C.W.; HENNING, A.A. Avaliação das perdas e qualidade de semente na colheita mecânica de soja. Revista Brasileira de Sementes, Brasília-DF., v.1, n.3, p. 59-70, 1979.

FORTES, M. A non - equilibrium thermodynamics approach to transport phenomena in capillary - porous media with special reference to drying of grains and foods. West Lafayette, Purdue University, 1978. 226p. (Tese Doutorado).

IBGE. Anuário Estatístico do Brasil. Rio de Janeiro-RJ, 1985. v. 45. 1104p.

IBGE. Anuário Estatístico do Brasil. Rio de Janeiro-RJ, 1987/1988. v. 48. 1740 p.

HORAES, M.L.B. de; HARA, T.; SILVA, R.F.; CONDE, A.R. Efeitos da velocidade e da posição do impacto na germinação e no vigor de sementes de soja (Cultivar UFV-2), com diferentes teores de umidade. Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa-MG, v.5, n.2, p. 27-35, 1980.

MOREIRA, S.M.C.; KRUTZ, G.W.; SUN, C.T. Distribuição de tensões no interior de grãos de milho durante impactos mecânicos. Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa-MG, v.6, n.2, p. 19-24, 1981.

MOHSEIN, N.N. Physical properties of plant and animal materials. New York, Gordon and Breach Science Publishers, 1970. 734p.

MOHSEIN, N.N. Thermal properties of foods and agricultural materials. New York, Gordon and Breach Science Publishers, 1980. 407p.

PRADO, E.P. Secagem de sementes de cacau em camadas finas, a sessenta e oitenta graus Celsius e variação de porosidade durante o processo. Viçosa-MG, UFV, 1978. 31p. (Tese Mestrado).

ROA, G.; ROSSI, S.J. Determinação experimental de curvas de teor de umidade de equilíbrio mediante a medição da umidade de equilíbrio. Revista Brasileira de Armazenamento, Viçosa-MG, v.2, n.2, p. 17-22, 1977.

ROCHA, F.E.; CORDEIRO, C.M.T.; GIORDANO, L.B.; CUNHA, J.M. Danificações mecânicas na colheita de sementes de ervilha. Pesquisas Agropecuária Brasileira, Brasília-DF., v.19, n.9, p.1117-1121, 1984.

SANTOS, J.R. Caracterização física e danos mecânicos causado por impacto em Castanha-do-Brasil. Viçosa-MG., UFV, 1976. 48p. (Tese Mestrado).

SOARES, J.B.; DALPASQUALE, V.A. Propriedades físicas de soja (Glycine max L.). IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRICOLA, 15, 1986. São Paulo-SP. Anais do XV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. São Paulo, Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. 1986. p. 240-250.

STEELE, J.F.; SAUL, R.A.; HUKILL, L. Deterioration rate of shelled corn as measured by carbon dioxide production. Transaction of the ASAE, St. Joseph, Michigan, v.12, p. 685-689, 1969.

YAMAOKA, R.S. Efeitos de semeadoras e de velocidade de semeadura sobre vazão e danificação mecânica de sementes de algodoeiro (Gossipium hirsutum L.). Piracicaba, ESALQ, 1981 (Tese Mestrado).