

## Avaliação da compressão em hortaliças e frutas e seu emprego na determinação do limite físico da altura da embalagem de comercialização

Rita de Fátima A. Luengo<sup>1</sup>; Adonai G. Calbo<sup>1</sup>; Ângelo Pedro Jacomino<sup>2</sup>; José Dalton C. Pessoa<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Embrapa Hortaliças, C. Postal 218, 70359-970 Brasília-DF, E-mail: rita@cnpq.embrapa.br; <sup>2</sup>USP, ESALQ, Av. Pádua Dias, 11, C. Postal 9, 13400-000 Piracicaba-SP; <sup>3</sup>Embrapa Instrumentação Agropecuária, R. XV de novembro 1452, 13560-970 São Carlos-SP.

### RESUMO

Obtiveram-se estimativas da altura máxima tolerável em embalagens para frutas e hortaliças usando métodos para medir a firmeza dependente do turgor em produtos hortícolas. As medidas de firmeza foram realizadas na região equatorial dos produtos. Estabeleceu-se em 5% a superfície da base da caixa em contato com a superfície amassada dos órgãos vegetais como o limite máximo de deformação do produto que não causa perda para a aceitabilidade comercial. Para o cálculo da altura da pilha que causa esta deformação, considerou-se o peso do produto e as acelerações de impacto observadas durante o transporte. A altura, associada a outras características serão utilizadas para o dimensionamento de uma família de tipos de caixas, para o transporte e armazenamento paletizado de frutas e hortaliças no Brasil. A técnica de aplanagem e o firmômetro geraram resultados próximos para tomate, batata, cebola, cenoura, chuchu, pimentão, inhame, jiló, batata-baroa, rabanete, laranja, maçã, limão, pera, uva para mesa, mamão, goiaba, ameixa e nectarina. Devido ao princípio de funcionamento, apenas o firmômetro foi capaz de avaliar a firmeza de produtos com superfície pouco regular, como abobrinha, maxixe, kiwi, pepino, vagem e quiabo.

**Palavras-chave:** firmeza, turgor, perdas pós-colheita.

### ABSTRACT

#### **Firmness of vegetables and fruits as a determinant of the maximum allowable pile height in commercialization packages**

An estimate was made of the maximum tolerable height for piling boxes of fruit and horticultural products using ways of measuring the firmness of the turgor of horticultural products. The flattening method and the firmometer generated similar results for tomato, potato, onion, carrot, chayote, bell pepper, yam, gilo, Peruvian carrot, radish, orange, apple, lemon, pear, grape, papaya, guava, plum and nectarine. Only the firmometer was able to measure the firmness of zucchini, kiwi, gherkin, cucumber, okra and green beans, because of the less regular surface. Firmness was measured in the equatorial part of these organs. It was assumed that 5% of the box base in contact with the flattened surface of the studied organs was the highest tolerated compression allowable during commercial use. To estimate the pile height that causes this deformation, the product weight and the usual impact acceleration, encountered during the transportation, were considered. This information along with specific product characteristics are being used to dimension a new box family, for palletized transport and commercialization of fruits and vegetables in Brazil.

**Keywords:** firmness, turgor, post-harvest losses.

(Recebido para publicação em 20 de dezembro de 2002 e aceito em 23 de agosto de 2003)

O setor de frutas e hortaliças tem uma produção estimada em R\$ 17 bilhões anuais, enquanto o setor de grãos registra uma produção estimada em R\$ 16 bilhões anuais, respondendo por 1,98% e 1,73%, respectivamente, do produto interno bruto (PIB) brasileiro em 1998. Embora menos divulgado na mídia e menos prestigiado por políticas públicas de grande porte, o setor hortícola ainda oferece oito vezes mais empregos por hectare que o setor de grãos e é caracterizado principalmente por pequenas áreas de cultivo e mão-de-obra familiar, gerando emprego, renda e viabilizando uma vida digna no campo (Accarini *et al.* 1999).

Um dos desafios no segmento hortícola é melhorar a eficiência do produtor rural no processo de comercialização de sua produção (Junqueira & Luengo, 2000; Vilela & Macedo, 2000), momento em que ocor-

rem perdas pós-colheita elevadas. Parte importante no processo de comercialização são os canais de distribuição de frutas e hortaliças, onde ainda predominam as centrais de abastecimento, ou Ceasas, mas com uma participação relativa crescente e forte dos supermercados enquanto equipamentos de distribuição de frutas e hortaliças (Accarini *et al.*, 2000a). Esta tendência de participação significativa do varejo na distribuição de frutas e hortaliças tem consequências diretas para os produtores, como a necessidade de proteger melhor sua produção e a preocupação não só com a quantidade mas também com a qualidade do que é produzido (Accarini *et al.*, 2000b). A maioria das embalagens usadas na comercialização de frutas e hortaliças foi adaptada de outros usos, principalmente do transporte de peças para automóveis e carne. A idéia é construir embalagens para pro-

dutores perecíveis vivos, com necessidades próprias de proteção. É neste cenário que se insere o tema embalagens para hortaliças e frutas no Brasil.

Para a escolha de embalagens deve-se considerar a quantidade do produto, número de camadas, tipo de material, visando acomodar o vegetal sem danificá-lo (Chitarra & Chitarra, 1990). De uma maneira geral, as injúrias mecânicas estressam o vegetal, causam aumento da produção de etileno e distúrbios relativos à compartimentação celular. Há ainda aumento na taxa respiratória e na velocidade de deterioração e redução da vida pós-colheita do vegetal que foi submetido à injúria mecânica. Os danos mecânicos, além de prejudicar a aparência do produto diretamente, diminuindo o seu valor comercial, constituem-se na principal via de penetração de agentes patogênicos, que causam deterioração e perda do alimen-

to. A caixa “K”, assim denominada devido ao transporte de querosene na segunda guerra mundial, é ainda hoje, 60 anos depois, a mais usada. Embalagens específicas e tecnificadas são necessárias (Ardito & Castro, 1988). De acordo com o trabalho de Topel (1981) a caixa K resiste, em média, a 5 utilizações, dependendo dos cuidados no manuseio e do tipo de madeira. O tomate, por exemplo, é suscetível a danos mecânicos, necessitando da embalagem para sua proteção. Wills *et al.* (1982) demonstraram que os frutos são muito afetados pela compressão e impactos sofridos durante o transporte. De acordo com Bordin (1998), durante o transporte do tomate existe o efeito da movimentação tangencial, isto é, contato direto entre frutos próximos na embalagem e entre estes e as paredes das embalagens, que podem resultar em injúrias de amassamento e/ou ferimentos nos frutos quando a superfície da caixa é áspera. Soares *et al.* (1994) mediram injúrias mecânicas em tomates acondicionados em caixa K e relataram que houve aumento de 47% nas marcas de abrasões nos frutos que tiveram contato direto com a superfície áspera das ripas de madeira da caixa. Moura (1995) avaliou a percentagem de danos mecânicos causados a frutos de tomate embalados em caixa K e verificou que atingiram 11% dos frutos contidos nas 100 caixas e ocorreram principalmente durante o fechamento das caixas, enquanto os frutos são comprimidos e feridos pelo contato com as frestas nas laterais da caixa. Moretti *et al.* (1998) estudaram o efeito de injúrias mecânicas sobre a qualidade de tomates, a nível de tecidos internos separados do fruto injuriado. Os tecidos pericárpico, locular e placentário foram afetados distintamente pela injúria mecânica, havendo reduções significativas de carotenóides, vitamina C e ácidos orgânicos em relação aos tecidos não injuriados.

A força de compressão pode ser representada pela medida da firmeza dependente da turgescência celular do vegetal e é um critério útil para definir o componente altura da embalagem. Constata-se em trabalhos de revisão (Nachtigal, 1994; Steudle, 1994) que a pressão de turgescência nunca foi utili-

zada para determinar a altura de embalagens. Assim, a metodologia aqui descrita constitui-se em novidade técnica. Esta informação de diferentes produtos, associada a outras características, deverá ser utilizada para o trabalho de dimensionar uma família com poucos tipos de caixas para o transporte e o armazenamento paletizado de frutas e hortaliças no Brasil. A comercialização em número reduzido de embalagens tem grande valor logístico para facilitar as transações e diminuir os custos associados à produção e administração das próprias embalagens.

Avaliou-se neste trabalho a altura máxima tolerável para o empilhamento de frutas e hortaliças, fazendo uso de dois métodos de estimativa da firmeza, dependente da pressão de turgescência e do critério de deformação máxima aceitável para a compressão dos órgãos contra o fundo da caixa durante o transporte e a comercialização.

## MATERIAL E MÉTODOS

A firmeza dependente da turgescência celular foi medida com a técnica de aplanção (Calbo & Nery, 1995) e com o aparelho denominado firmômetro, desenvolvido por José Dalton Cruz Pessoa (Embrapa Instrumentação Agropecuária), ainda não publicado. Estes métodos geram estimativas de firmeza dependentes da pressão de turgor similar à obtida com câmara de pressão (Calbo & Nery, 1989), e com sonda de pressão, resultados ainda não publicados.

A firmeza (F) (unidade de pressão kgf/cm<sup>2</sup>) é obtida dividindo-se o peso da ponta de prova (P), na técnica de aplanção, e a força lida sob a área amassada sob a ponta de prova circular do firmômetro [quilograma força (kgf)] pela área aplanada (A) em centímetros quadrados, na técnica de aplanção, ou pela área da ponta de prova (cm<sup>2</sup>) no firmômetro.

$$F = P/A \quad (\text{Equação 1})$$

Técnica de aplanção:  $F = P/A \rightarrow F = 1,094 \text{ kgf}/(p(d_1 \cdot d_2)/4)$ , onde:

$d_1$  = diâmetro maior da área aplanada;

$d_2$  = diâmetro menor da área aplanada

Técnica firmômetro:  $F = P/A \rightarrow F = [(x - b) \cdot c]/(p \cdot (d)^2/4)$ , sendo:

$x$  = leitura da firmeza da hortaliça ou fruta;  $b$  = branco, ou seja, a leitura com força zero (valor registrado no multímetro antes da aplicação da força para amassar a hortaliça ou fruta);  $c$  = fator de calibração (inclinação na curva entre força aplicada e leitura  $x$ );  $d$  = diâmetro da ponta de prova circular = 0,472 cm

$$F = [(x - b) \cdot 1,037051]/0,1711997$$

As hortaliças e frutas consideradas para desenvolvimento das embalagens foram as produzidas em maior quantidade segundo o IBGE (2003) e incluem tomate, batata, cebola, cenoura, chuchu, pimentão, pepino, inhame, jiló, batatabaroa, maxixe, rabanete, laranja, maçã, tangerina, limão, pera, quiabo, feijão-vagem, abobrinha, uva para mesa, mamão, goiaba, ameixa, kiwi, nectarina e carambola.

Diante da diversidade varietal de cada uma das espécies estudadas, foram utilizadas amostras das variedades mais consumidas: laranja Pêra, maçã Fuji, cenoura Brasília, e assim por diante. Para produtos adquiridos no varejo sem indicação da variedade foi registrada somente a espécie. Apesar de ser grande a probabilidade de haver diferenças entre cultivares da mesma espécie, neste trabalho o objetivo foi medir firmeza em diferentes espécies, sem preocupação de detectar diferenças varietais que são muito menores e podem ficar incluídas nas margens de segurança já consideradas. Para maior representatividade foi escolhida a variedade mais consumida de cada hortaliça ou fruta.

A medida de firmeza foi feita no local de maior diâmetro, normalmente na região equatorial. Para a cebola, especificamente, as medidas foram feitas retirando-se os catáfilos externos secos e usando-se placa com peso maior para a medida de aplanção, porque as nervuras são rígidas. Devido ao formato irregular da carambola não foram realizadas medidas de firmeza com os métodos estudados. Abobrinha, kiwi, pepino, vagem,

**Tabela 1.** Firmeza (kgf/cm<sup>2</sup>) medida em hortaliças e frutas com a técnica de aplanção e firmômetro e seus respectivos erros padrões da média (%), densidades aparentes e alturas potenciais calculadas ( $H = 25 P/d$ ) das embalagens baseadas na firmeza de hortaliças e frutas e condições de transporte. Brasília, Embrapa Hortaliças, 2002.

Hortaliça ou fruta	Firmômetro (kgf/cm <sup>2</sup> )	Erro padrão da média	Aplanção (kgf/cm <sup>2</sup> )	Erro padrão da média	Densidade aparente	Altura potencial (cm)
Abobrinha Italiana	1,087	0,162	-	-	0,47232	58
Ameixa	1,0874	0,085	0,7228	0,039	0,364444	50
Batata	1,8870	0,165	1,5411	0,092	0,50000	77
Cebola	3,3074	0,107	3,8442	0,289	0,151543	546
Cenoura 'Brasília'	3,9192	0,123	3,5289	0,285	0,546896	161
Chuchu	2,0335	0,160	1,9413	0,185	0,522037	93
Goiaba (meio madura)	2,1650	0,198	1,8522	0,182	0,689223	67
Inhame	4,2391	0,028	4,8499	0,164	0,571755	185
Jiló	0,8183	0,126	0,9653	0,067	0,422602	48
Kiwi	3,007	0,033	-	-	0,540123	139
Laranja Pêra	0,8290	0,060	0,7186	0,078	0,5002	36
Limão Tahiti	1,4889	0,079	1,3615	0,091	0,5002	68
Maçã 'Fuji'	3,2802	0,136	3,8225	0,301	0,448627	183
Mamão Papaya (verde)	0,8438	0,053	0,6513	0,138	0,144928	112
Mandioquinha-salsa	3,1699	0,129	3,5714	0,344	0,54689	145
Maxixe	3,4976	0,121	-	-	0,397743	224
Nectarina	1,3383	5,32	1,1207	0,473	0,364444	77
Pepino caipira	1,7604	12,00	-	-	0,522037	84
Pêra 'Willians'	2,0135	26,11	2,3438	0,119	0,515152	98
Pimentão 'Magali'	0,7142	6,64	0,8556	0,201	0,273448	65
Quiabo	0,7610	9,56	-	-	0,348025	55
Rabanete	4,3057	5,39	4,9093	0,317	0,1100	978
Tomate (meio maduro)	0,6436	5,72	0,6296	0,026	0,546896	29
Uva Itália	0,3594	2,20	0,4892	0,018	0,359737	25
Vagem	2,6314	1,90	-	-	0,422602	156

quiabo e maxixe apresentam dificuldade na formação da elipse medida na técnica de aplanção, por isso os dados não foram considerados.

A análise estatística dos dados foi realizada através do erro padrão da média (5%), calculado para cada uma das espécies estudadas. Cada hortaliça ou fruta foi considerada uma unidade experimental ou parcela dentre 10 repetições utilizadas para cada espécie.

Com base nestas estimativas de firmeza e considerando-se que o limite tolerável da superfície dos órgãos amassados contra a base da caixa seja 5%, a altura máxima potencial foi dada por:

$$H = 0,05 \times P \times 1000 / (2 \times d) \text{ (Equação 2)}$$

Onde H = altura da embalagem (cm); P = pressão ou firmeza medida (kgf/cm<sup>2</sup>); d = densidade aparente do produto na embalagem.

A densidade aparente foi calculada dividindo-se a massa do produto por seu volume na embalagem. O número 0,05 é 5%, 1000 é para a conversão da pressão em altura de coluna de água e o número 2 é duas vezes a aceleração da gravidade. A razão deste cuidado é que no manuseio e no transporte as embalagens são frequentemente submetidas à aceleração de 2 a 3 vezes o valor da aceleração da gravidade (Luengo *et al.*, 1997; Moretti *et al.*, 2002). Para maior confiabilidade, o valor de P considerado foi o menor medido dentre os dois métodos. Simplificando, então, a altura da embalagem fica:

$$H = P \times 25 / d \text{ (Equação 3)}$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 são apresentados os valores médios obtidos para firmeza, densidade aparente e altura da embalagem para as diversas frutas e hortaliças avaliadas no presente trabalho.

Para alguns produtos com a superfície muito irregular não foi possível estimar a área amassada com a fórmula da área da elipse; assim, para estes produtos só foi possível determinar a firmeza com o firmômetro. A similaridade dos resultados obtidos com a técnica de aplanção e com o firmômetro reflete que estes dois aparelhos, com modos

de operação diferentes, estão medindo a mesma propriedade, a pressão de turgescência celular.

Os produtos avaliados foram adquiridos no ponto final de venda já 3 a 4 dias após a colheita, menos hidratados em relação à condição de hidratação logo após a colheita. Por este motivo, os valores medidos são menores em relação ao produto recém-colhido. Produtos mais hidratados possuem firmeza maior e suportam altura de embalagem maior, portanto sob o ponto de vista de proteção de produto este é mais um fator de segurança incluído nos cálculos realizados. Para maior confiabilidade, o valor de P considerado foi o menor medido pelos dois métodos.

O erro padrão da média representa a precisão da média, isto é, quanto menor o erro padrão da média maior precisão da média. De modo geral, a estimativa da firmeza com o uso do firmômetro apresentou erros padrões da média menores, embora para alguns produtos isso não tenha ocorrido.

A altura potencial calculada significa a capacidade da hortaliça ou fruta protegida para apresentar no máximo 5% de sua superfície amassada contra o fundo da caixa durante o transporte. Para isso, além do peso do produto, considerou-se a aceleração de impacto, típica durante o transporte, como fator de segurança ao dimensionamento. Esta informação balizará a altura máxima das embalagens da família de caixas nas quais os produtos serão acomodados, não sendo aproveitado seu valor exato calculado. Por razões logísticas e econômicas haverá poucos modelos de caixas e em consequência os valores das alturas serão sempre menores que os calculados.

A densidade aparente da embalagem foi calculada para a embalagem mais usada atualmente. Há considerações práticas a respeito destes valores: a comercialização do rabanete é feita em maços com as folhas, o que faz com que a densidade da embalagem seja relativamente baixa. No caso da maçã a altura estimada é grande, porém os amassamentos são irreversíveis e a região amassada escurece, por isso é prudente usar altura menor. Pereira (1996) trabalhou com tomate e provou que exis-

tem deformações reversíveis e irreversíveis, mas esta informação não está disponível para todos os produtos. Observa-se que para alguns produtos, como cebola, cenoura, inhame, maxixe, rabanete e vagem, a altura não é o fator limitante na definição da embalagem. Já para produtos mais delicados, como tomate e uva, a altura é o fator limitante. Alguns produtos, como mamão e goiaba, foram avaliados quando já estavam meio maduros, porém no transporte normalmente estão mais verdes e com resistência mecânica maior.

Produtos muito sensíveis, como é o caso do morango, ervilha verde e figo não tiveram suas alturas calculadas, porque serão acomodados em embalagens secundárias pequenas as quais serão acomodadas nas caixas padrão da família a ser desenvolvida.

O conhecimento da altura da embalagem, baseada na capacidade da hortaliça ou fruta protegida para apresentar no máximo 5% de sua superfície amassada, será a primeira variável a ser utilizada para estabelecer quais produtos deverão ser acondicionados em cada uma das caixas da família de embalagens com poucos modelos. O propósito é desenvolver a embalagem para proteger o produto, atender suas necessidades intrínsecas de proteção, principalmente contra danos mecânicos. Os tamanhos de comprimento e largura serão definidos em outro trabalho, levando-se em consideração a legislação brasileira, otimização de carga e trabalho e saúde do trabalhador.

## LITERATURA CITADA

ACCARINI, J.H.; MAZOCATO, M.A.; COSTA, O.G.P.; LUENGO, R.F.A. Hortigranjeiros—Crescimento exponencial: o setor cresce a taxas elevadas no Brasil. *Agroanalysis*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 12, p. 26-34, 1999.

ACCARINI, J.H.; MAZOCATO, M.A.; COSTA, O.G.P.; LUENGO, R.F.A. Hortícolas—modernização necessária. *Agroanalysis*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 41-46, 2000a.

ACCARINI, J.H.; MAZOCATO, M.A.; COSTA, O.G.P.; LUENGO, R.F.A. Hortícolas—ponto de estrangulamento. *Agroanalysis*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 2, p. 32-36, 2000b.

MORETTI, C.L.; ARAUJO, A.L.; TEIXEIRA, J.M.; MAROUELLI, W.A.; SILVA, W.L.C. Monitoramento em tempo real das condições de transporte de melões (*Cucumis melo* L.) 'Golden Pride'. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 20, n. 2, 2002. Suplemento 2. CD-ROM. Trabalho apresentado no 42º Congresso Brasileiro de Olericultura, 2002.

ARDITO, E.F.G.; CASTRO, J.V. Embalagens para frutas tropicais para mercado interno e externo. In: BLEINROTH, E.W. *Tecnologia de pós colheita de frutas tropicais*. Campinas: ITAL, 1988, 199 p. (Manual Técnico, 9)

BORDIN, M.R. *Embalagem para frutas e hortaliças*. In: II CURSO DE ATUALIZAÇÃO EM TECNOLOGIA DE RESFRIAMENTO DE FRUTAS E HORTALIÇAS. Campinas: UNICAMP, 1998, p.19-27. (Apostila)

CALBO, A.G.; CALBO, M.E.R. Medição e importância do potencial de parede. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, Brasília, v. 1, n. 1, p. 41-45, 1989.

CALBO, A.G.; NERY, A.A. Medida de firmeza em hortaliças pela técnica de aplanção. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 12, n. 1, p. 14-18, 1995.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. *Pós-Colheita de Frutas e Hortaliças: Fisiologia e Manuseio*. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320 p.

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática—SIDRA: Horticultura. Disponível em <http://www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em 14/04/2003.

JUNQUEIRA, A.H.; LUENGO, R.F.A. Mercados diferenciados de hortaliças. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 18, n. 2, p. 95-99, 2000.

LUENGO, R.F.A.; FURUYA, T.; SILVA, J.L.O. Embalagem ideal para o transporte do tomate 'Santa Clara'. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 32, n. 5, p. 517-520, 1997.

MORETTI, C.L.; SARGENT, S.; HUBER, D.J.; CALBO, G.; PUSCHMANM, R. Chemical composition and physical properties of pericarp, locule, and placental tissues of tomatoes with internal bruising. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, v. 123, n. 4, p. 656-660, 1998.

MOURA, R. Danos mecânicos no tomate, pelo uso da caixa K. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 35. 1995. Foz do Iguaçu. *Resumos*. Foz do Iguaçu: SOB, 1995. p. 110.

NACHTIGAL, W. On the research history of plant biomechanics. *Biometrics*, v. 2, n. 2, p. 87-107, 1994

PEREIRA, A.V. *Deformações em frutos de tomateiro sob compressão*. Brasília: UnB, 1996. 37 p. (Tese mestrado)

SOARES, G.; CORREA, T.B.S.; SARGENT, S.; ROBBES, C.F. *Perdas na qualidade do tomate na cadeia produtiva*. Rio de Janeiro: CTAA/ EMBRAPA, 1994. 7 p. (Relatório técnico)

STEUDLE, E. The regulation of plant water at the cell, tissue, and organ level: role of active processes and compartmentation. In: SCHULZE, E.D. (ed.) *Flux control in biological systems*. San Diego: Academic Press, 1994. p. 237-299.

TOPEL, R.M.M. *Estudos de embalagens para produtos hortícolas: O caso da caixa K*. São Paulo: IEA, 1981, 29 p. (Relatório de pesquisa 17/81)

VILELA, N.J.; MACEDO, M.M.C. Fluxo de poder no agronegócio: o caso das hortaliças. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 18, n. 2, p. 88-94, 2000.

WILLS, R.B.H.; IEE, T.H.; GRAHAM, D.; McGLASSON, W.B.; HALL, E.G. *Postharvest: An introduction to the physiology and handling of fruits and vegetables*. Austrália: New South Wales University, 1982. 174 p.