

## Capítulo 3

---

# **Fisiologia Pós-Colheita em Hortaliças - Teórica e Prática**

Adonai Gimenez Calbo

---



## 1. Introdução

Neste capítulo procurar-se-á, através de observações e considerações de laboratório estruturadas, para fortalecer o entendimento concatenado das seguintes noções e objetos relativos à fisiologia pós-colheita:

- a) Atmosfera interna, volumes gasosos intercelulares, densidade, firmeza dependente da pressão de turgescência, trocas gasosas, concentrações de  $O_2$ ,  $CO_2$  e etileno na atmosfera interna, ceras, filmes e selantes;
- b) Respiração, evolução de  $CO_2$ , consumo de  $O_2$ , pressão da atmosfera interna, infiltração, lavação, limpeza, absorção de água, composição da atmosfera interna, hipoxia, estágio de amadurecimento, injúrias mecânicas;
- c) Transpiração, déficit de pressão de vapor, evaporatividade ou poder evaporativo do ar, velocidade do vento, pressão de vapor da água, temperatura, umidade relativa, déficit de pressão de vapor de água, condutividade e resistência ao transporte de vapor de água, desidratação relativa, firmeza dependente da turgidez celular, hidratação;
- d) Amadurecimento, maturidade, senescência, meia-vida pós-colheita, decaimento da firmeza, hidrólise de componentes da parede celular, temperatura, etileno,  $O_2$  e  $CO_2$  na atmosfera interna;
- e) Resistência mecânica, casca, tecido dermal, pressão de turgescência celular, resistência à penetração, hidratação, volumes gasosos intercelulares, rachadura, amassamento, danos mecânicos;
- f) Altura de pilhas frutos, altura das embalagens, densidade do fruto, densidade aparente, volumes gasosos intercelulares, turgor celular, firmeza dependente da turgescência, meia vida pós-colheita, resistência mecânica;
- g) Temperatura, vida pós-colheita, radiação, albedo ou refletância e emissividade térmica das superfícies, ambiência, refrigeração, resfriamento rápido, calor de campo, telhado branco, pisos frios, superfícies frias;
- h) Temperatura, meia-vida pós-colheita, vida útil, deterioração, senescência, equação de Arrhenius, energia de ativação,  $Q_{10}$ .

## 2. Borbulhamento de ar através de frutos

O borbulhamento forçado de ar através de frutos, como moranga, maçã e tomate é obtido insuflando-se ar com um compressor, que é ligado a uma conexão para gases inserida em um orifício justo. No ensaio, o órgão é imerso em água no interior de um contentor (Figura 1). A forma como ar forçado borbulha evidencia que a polpa das frutas e hortaliças possui volumes gasosos intercelulares interconectados, com saída através de tecidos dermais impermeáveis ao ar, exceto através de aberturas como estômatos, lenticelas e eventuais ferimentos.



**Figura 1:** Borbulhamento de ar através de uma moranga na água, que recebe ar sob pressão através de um tubo introduzido no fruto com auxílio de um bico de conexão metálica para gases. Foto: Adonai Gimenez Calbo.

O ensaio ilustrado na Figura 1 foi descrito por Devaux em 1891 (DEVAUX, 1891), quando utilizou este método para demonstrar que os volumes gasosos intercelulares nas plantas são, de fato, bem interconectados e possibilitam a difusão de oxigênio necessário para a respiração e a vida das células. A difusão de gases através de volumes gasosos intercelulares contidos em lenticelas e em estômatos possibilita a difusão do oxigênio que mantém as células vivas, emitindo gases como  $\text{CO}_2$  e etileno e compostos voláteis biologicamente relevantes que incluem os aromas.

### 3. Compressão versus opacidade dos tecidos

Um ensaio visual que possibilita qualificar deformações nos volumes gasosos intercelulares é o de supressão parcial da opacidade dos tecidos. Este método fundamenta-se no fato de que a opacidade dos vegetais decorre da dispersão da luz no interior dos seus tecidos, que contêm organelas e outras estruturas com diferentes índices de refração; nesse contexto, a dispersão da luz na vizinhança entre células e volumes gasosos intercelulares é relevante.

A supressão parcial da opacidade em escamas de cebola e em segmentos de berinjela pode ser obtida submetendo o material à compressão entre as placas de vidro. Neste ensaio manual, ou com auxílio de uma prensa, observa-se que a translucência cresce até um valor máximo, enquanto se aumenta a força de compressão aplicada. O crescimento da translucência neste ensaio ocorre na proporção em que as paredes celulares, ao redor dos volumes gasosos volumes intercelulares, passam a dispor de menor área relativa para dispersar a luz.

### 4. Flutuação, densidade e densidade aparente

A flutuação, ou afundamento, de órgãos ao serem colocados em água possibilita inferências quantitativas sobre a densidade, volumes gasosos intercelulares, em frutos e sobre as dimensões relativas de lóculos e sobre o defeito lóculo vazio.

Diferentemente da densidade e do peso específico intrínseco, que são medidos com relação ao volume do órgão, a densidade aparente de um produto hortícola é a razão entre a massa do produto em quilos ( $kg$ ) e o volume efetivo da caixa, que é ocupado pelo produto em litros ( $L$ ). Consequentemente, a densidade aparente dos frutos nas embalagens envolve a densidade intrínseca do produto e a fração de volumes vazios no volume da caixa ocupado pelo produto. Desse modo, a densidade aparente é um valor aproximado que envolve fatores de problematização, como a geometria, o volume, as dimensões laterais, a profundidade e o pouco estudado efeito do amassamento das frutas e das hortaliças sobre este parâmetro.

A densidade aparente, é por sua vez, proporcional ao peso específico aparente, e a proporcionalidade entre essas duas variáveis é o parâmetro  $g$ , a aceleração da gravidade. Assim, a aceleração do campo gravitacional na superfície da terra é por definição  $1,00 g$ . Consequentemente, dependendo das unidades a relação de conversão entre densidade ( $d$ ) e peso específico ( $\rho$ ) é numericamente igual a  $1,00$ , caso, por exemplo, seja dado como a razão entre o peso do produto expresso em gramas e o volume em  $\text{cm}^3$ , como será utilizado adiante.

### 5. Volumes gasosos intercelulares, firmeza maciez e rachaduras

A firmeza dependente da turgescência celular medida com a técnica de aplanção (CALBO; NERY, 1995a) é influenciada pela fração de volumes gasosos intercelulares no tecido. Esta firmeza possui consequências práticas para a resistência mecânica das frutas e hortaliças, enquanto suportam estresses de compressão e impacto.

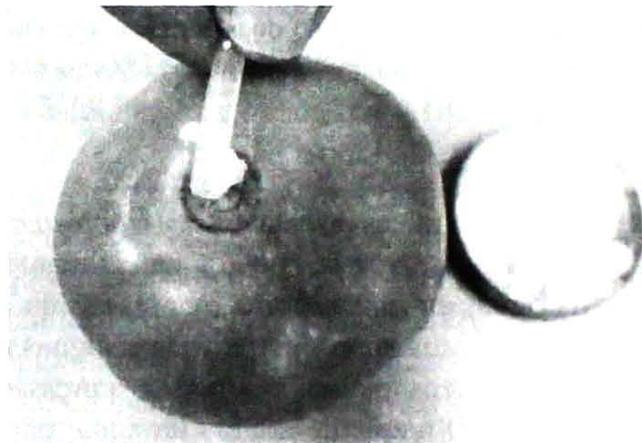
Volume gasoso intercelular e pressão de turgescência são fatores que se relacionam através da elasticidade das frutas e hortaliças, o que pode ser observado em diferentes tipos de ensaios de colisão (WEBER, 1990; FERREIRA, 2008; CALBO, 2008). Em ensaios realizados sobre superfícies rígidas ou contra absorvedores de impacto, duas variáveis frequentemente mensuradas são: o coeficiente de restituição

e a frequência de rachaduras. Além dessas, dependendo da natureza das superfícies sobre as quais a queda das frutas ou hortaliças se dá, pode haver também a ocorrência de diferentes sons, relacionados a certas frequências de ressonância que dependem das dimensões, da densidade, da forma, dos volumes gasosos intercelulares e da pressão de turgescência celular. Para uma simples percepção auditiva nesta demonstração, observaremos, sem rigor, os sons emitidos durante as colisões de tubérculos de batata, de raízes de cenoura e de frutos de berinjela e de maçã.

Os métodos de determinação de firmeza de acordo com as vibrações e as ressonâncias que ocorrem em quedas por ações de pequenos impactos controlados (LAURENT, 2003; LACERDA, 2004) são particularmente úteis durante procedimentos automatizados de seleção, quando os órgãos apresentam dimensões regulares.

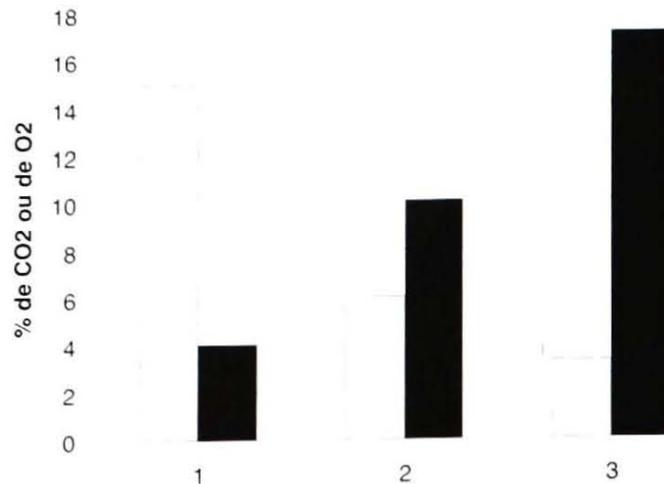
## 6. Uso de selante na inserção do pedúnculo

O bloqueio da inserção do pedúnculo com gorduras comestíveis é uma forma de estender a vida útil de frutos de tomate colhidos no estágio verde-maduro, que pode ser facilmente utilizado em ambiente doméstico. Esse aumento da conservação do fruto depende significativamente dos detalhes de aplicação do selante, da temperatura, do estágio de amadurecimento e da cultivar. Nessas aplicações de selantes à inserção do pedúnculo de frutos de tomate, é comum obter-se atrasos de amadurecimento de 4 a 14 dias (Figura 2) (CALBO et al. 1988; HENZ et al., 1994).



**Figura 2:** O amadurecimento mais lento e a maior conservação pós-colheita de frutos de tomate podem ser obtidos com a aplicação ilustrada de selantes comestíveis, como a gordura de coco, na inserção do pedúnculo do fruto. Este efeito é obtido graças à diminuição da concentração de oxigênio e ao aumento da concentração de dióxido de carbono na atmosfera interna dos frutos. Foto: Camila Fernanda Borges.

Como selante pode-se usar, por exemplo, a gordura de coco que não altera o sabor do fruto, ou, na sua falta, a margarina. A gordura de coco é aplicada como uma camada com menos de 0,1 *mm* na inserção do pedúnculo não do fruto, o que pouco altera a aparência do fruto. O amadurecimento mais lento, assim como o aumento da conservação do fruto, é causado por uma associação efeitos que envolvem a redução da concentração de O<sub>2</sub> e do aumento da concentração do CO<sub>2</sub> na atmosfera interna do fruto (Figura 3), conforme já foi discutido anteriormente. O emprego de selante na inserção do pedúnculo de frutos de tomate é útil em ambiente doméstico e poderia também ser utilizado para aplicações comerciais.



**Figura 3:** Concentrações de CO<sub>2</sub> (Cinza) e de O<sub>2</sub> (negro) na atmosfera interna de frutos de tomate 'Ângela Gigante' tratados com dois níveis de selante para obstruir parcialmente o transporte de gases através da inserção do pedúnculo. Tratamentos: 1- controle, 2 - selante, 3 - selante mais intenso. O amadurecimento dos frutos tratados com o nível 1 de selante foi atrasado em cerca de uma semana, e o amadurecimento dos frutos tratados com o nível dois de selante foi atrasado em mais de duas semanas em ensaio realizado sob temperatura ambiente de 23±2 °C.

## 7. Lavação, absorção e infiltração de água

Neste ensaio, segmentos transversais de raízes de batata-doce (*Ipomea batatas* L. Lam) são totalmente ou parcialmente imersos em água (Figura 4). Nos segmentos parcialmente imersos, menos de 10% do segmento deve permanecer fora da água, em um suspiro. A pressão da atmosfera interna das raízes parcialmente imersas mantém a pressão da atmosfera interna apenas alguns milímetros de coluna de água menor do que a pressão atmosférica. Nas raízes totalmente imersas, a pressão reduz-se quase linearmente, ao longo do tempo, até atingir mais de 1,0 metro de coluna de água, para, então, a seguir começar a aumentar novamente depois de todo o suprimento de O<sub>2</sub> da atmosfera interna ter sido consumido, o que ocorre cerca de uma hora após a imersão (CALBO; NERY, 2000; NERY; CALBO, 1994). Por isso, nos segmentos transversais totalmente imersos em água ocorre uma muito maior infiltração de água nos volumes intercelulares, maior aumento de peso do que nas raízes ou segmentos parcialmente imersos, nos quais a redução da pressão na atmosfera interna foi diminuta.

Caso o mesmo ensaio seja efetuado em raízes intactas, então, praticamente só há absorção de água através das paredes e membranas celulares, e pouquíssima infiltração de água é induzida pela redução da pressão na atmosfera interna dos órgãos imersos.

Considerando-se as dimensões transversais dos volumes intercelulares, sugere-se que partículas, como bactérias e esporos, possam ser arrastadas para o interior do órgão pela infiltração de água durante a lavação de frutas e hortaliças com tecidos mecanicamente danificados, por segmentação (minimamente processados).

Esses efeitos causados pela redução da pressão da atmosfera interna (CALBO; NERY, 2000) durante a lavação de frutas e hortaliças são causados pela restrição das trocas gasosas entre a atmosfera interna do órgão e a atmosfera propriamente dita. Por causa disso, o consumo de oxigênio na respiração causa a redução da pressão, porque no órgão com trocas gasosas obstruídas, o CO<sub>2</sub> se dissolve nos componentes celulares, tendo em vista que o CO<sub>2</sub> tem solubilidade em água cerca de 30 vezes maior que o O<sub>2</sub> (NOBEL, 1991).

Nos segmentos parcialmente imersos, na ausência de gradiente de pressão, a infiltração de água não

ocorre, e a pequena absorção de água observada é toda ela controlada pelo processo de absorção, propriamente dita da água. Processo assemelhado à absorção de água pelas raízes das plantas no campo.



**Figura 4:** Dispositivo para medir a redução da pressão da atmosfera interna de órgãos imersos em água com auxílio de uma câmara externa de Devaux selada contra a raiz e ligada por um microtubo a um transdutor de pressão MPX2010, que lê a pressão da atmosfera interna. No transdutor de pressão a escala de leitura é entre 0 e 10 *kPa* com uma sensibilidade de 2,5 *mV/kPa* ao ser alimentado por uma fonte de 10 Volts de corrente contínua. Foto: Camila Fernanda Borges.

## 8. Amostragens da atmosfera interna

Várias informações fundamentais sobre a fisiologia das frutas e hortaliças foram adquiridas graças ao uso de amostras gasosas da atmosfera interna, quantificação de volumes intercelulares e medições de taxas de transporte de  $O_2$ ,  $CO_2$ , etileno e vapor de água. Sobre quantificações da atmosfera interna, nesta secção nos ateremos apenas aos métodos de extração de amostras gasosas.

Um dos métodos mais criativos e, ainda, um dos mais poderosos para extrair amostras da atmosfera interna de frutos intactos é aquele desenvolvido por Devaux (1891). Nessa aplicação, porém, Devaux foi além de insuflar ar com o intuito de demonstrar a abertura para gases nos tecidos dermais através de lenticelas e estômatos. Devaux sabia que o fluxo forçado de  $O_2$  e  $CO_2$  através do tecido dermal, biologicamente, é um fenômeno de intensidade menos relevante do que a difusão dos gases, visto que as variações da pressão barométrica e da pressão de vapor de água são modestas e usualmente causa apenas diminuto arraste de gases para a atmosfera interna. Assim, Devaux foi induzido a estudar a composição da atmosfera interna e a difusão dos gases da atmosfera interna mediante o desenvolvimento do engenhoso método da Câmara Externa.

O método da Câmara Externa de Devaux (1891) consiste em se colar, sobre o órgão vegetal, um fruto de melão, por exemplo, uma câmara de volume adequado para amostragem da atmosfera interna (Figura 5). O volume da Câmara Externa de Devaux era da ordem de alguns mililitros, o equilíbrio por difusão ocorre em algumas horas e as amostras gasosas da Câmara Externa são extraídas com uma seringa de 1,0 mililitro, através de um septo. As amostragens da atmosfera interna efetuadas com a Câmara Externa de Devaux são não destrutivas, o que é ideal para estudos em frutos individuais ao longo do tempo, por exemplo, para evidenciar a acumulação de níveis fisiologicamente significantes de etileno em frutos climatéricos ou para estudar a redução da concentração de  $O_2$  na atmosfera interna de frutos tratados com ceras. No trabalho original em que Devaux observou concentrações reduzidas de  $O_2$  e concentrações aumentadas de  $CO_2$  na atmosfera interna de melões, as medições foram efetuadas com um antigo método gasométrico, do qual o Facili (CALBO et al., 2007a) é uma adaptação mais fácil de ser utilizada, atualmente, do que o equivalente método de antigo (THODAY, 1913), que vem sendo utilizado desde a Idade Média.

O método da Câmara Externa, portanto, é de aplicação tanto para laboratório quanto para campo (CAMERON, 1982). A base física do método da Câmara Externa é o equilíbrio, por difusão dos gases através de volumes gasosos intercelulares, que ocorre mediante a movimentação térmica das moléculas

gasosas, que por movimentação aleatória, tornam a concentração da Câmara Externa igual à concentração na atmosfera interna dos órgãos amostrados. O caminho para esta difusão, como Devaux demonstrou, são os volumes intercelulares das lenticelas e estômatos contidos em tecidos dermais que são praticamente impermeáveis através das demais células poliédricas recobertas por cutícula ou outros revestimentos epidérmicos e dermais.

A leitura que se obtém com o método da Câmara Externa para  $O_2$  e  $CO_2$  é muito similar àquele obtido por extração, com uma seringa, de frutos que possuem uma cavidade interna, como o melão e o pimentão. O diferencial do método de Devaux é ser destrutivo, de tal maneira que se pode acompanhar, por exemplo, as variações da concentração da atmosfera interna de frutos individuais na planta, antes da colheita.



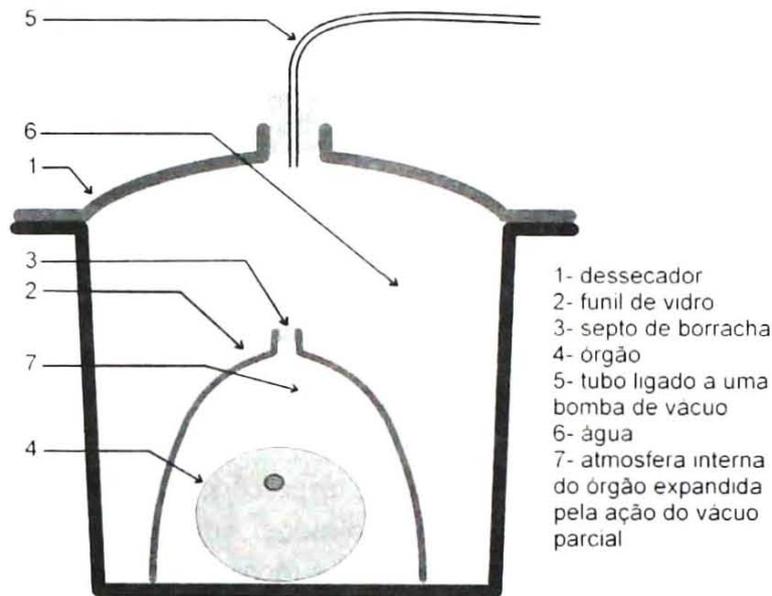
**Figura 5:** Foto de uma Câmara Externa de Devaux, preparada por corte de um segmento de seringa plástica de 20 mL pronta para ser acoplada à superfície de um fruto de maçã. Também estão ilustrados a massa plástica utilizada para vedar externamente a câmara ao fruto e um sistema de coleta de amostras gasosas com auxílio de um micro tubo e uma seringa de 1,0 mL. Foto: Camila Fernanda Borges.

Outros métodos para estudar a concentração de gases na atmosfera interna que têm sido reiteradamente utilizados são:

a) Técnica da Câmara Interna de Wardlaw e Leonard (1939), que utiliza como câmara uma cavidade no órgão, também depende da energia térmica, velocidade, das moléculas de gases para obter equilíbrio entre uma Câmara Interna hermeticamente acoplada com a atmosfera interna, por exemplo, de banana por aberturas de volumes gasosos nos tecidos cortados do fruto nas paredes da cavidade. A técnica da Câmara Interna, evidentemente é um método de equilíbrio mais invasivo do que o da câmara externa de Devaux, que é acoplada por simples adesão. Wardlaw e Leonard, assim como Devaux, também utilizaram de métodos gasométricos similares aos descrito por Calbo et al. (2007a) para determinar  $CO_2$ ,  $O_2$  e  $N_2$  da atmosfera interna, enquanto faziam comparações com as taxas de evolução de  $O_2$  e  $CO_2$ , com as quais demonstram o padrão climatérico de respiração dos frutos de banana. Aparentemente, Wardlaw e Leonard (1939) não conheciam o trabalho do antepassado francês considerado acima.

b) Magness (1922) desenvolveu um instrumento para a extração a vácuo para evitar que a amostra da atmosfera interna de tubérculos de batata, que contém pouco volume gasoso intercelular, fosse contaminada com gás dissolvido na água ou com gás da atmosfera externa. O sistema em um arranjo mais atualizado (Figura 6) pode ser montado utilizando-se uma bomba de vácuo, um dessecador cheio de água previamente fervida e um funil com septo. Para uso, o produto é colocado sob o funil invertido, aplica-se vácuo parcial, com cuidado para que o volume do gás expandido não exceda o volume do funil, o que causaria vazamento de gás por baixo do funil. Após isto, a pressão é retornada ao valor inicial e a amostra da atmosfera interna é coletada através de um septo, com auxílio de uma seringa de 1,0 mL, para a medição com o instrumento Facile ou o Cromatógrafo a gás. Esse método, assim como os métodos de extração em vácuo parcial de Calbo e Sommer (1987) ou de Weber (1990), possui o defeito de contaminar a amostra da atmosfera interna com gases que estavam dissolvidos nas células. Por essa razão, nas extrações a vácuo de amostras da atmosfera interna é frequente se obter concentração de  $CO_2$  elevada, que, somada à concentração de  $O_2$  na amostra, gera somatório maior que 21%, um valor tipicamente inesperado, considerando-se coeficiente

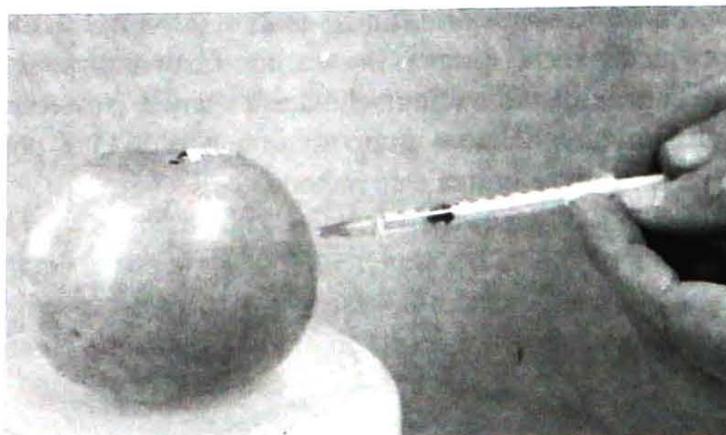
respiratório igual a 1,0 e concentração atmosférica de  $O_2$  de 21% (CALBO; NERY, 1994; CALBO; NERY, 1994). Evidentemente, essas medições são importantes e por vezes indispensáveis, porém precisam ser analisadas com o apropriado conhecimento da limitação desta técnica. Nesse sentido, convém saber que a solubilidade do  $CO_2$  em água e em membranas é muito mais elevada do  $O_2$  e, portanto, é a concentração de  $CO_2$  que aparece mais inflada quando se utiliza este método.



**Figura 6:** Sistema de extração a vácuo de atmosfera interna e de gases dissolvidos nas células sob um funil invertido imerso em água que inicialmente se encontrava completamente cheio de água e sem ar. O ar ilustrado no esquema expandiu-se para fora do órgão devido à redução de pressão atmosférica aplicada, o denominado vácuo parcial, aplicado cuidadosamente de modo que o gás não escape por baixo do funil.

c) Extrair atmosfera interna de órgãos com cavidade interna, como o melão, ou com grandes volumes gasosos intercelulares, como a maçã, por meio de uma seringa e agulha longa é método prático. Lyons et al. (1962) utilizaram extração com seringa para observar traços de etileno, com concentração inicialmente muito inferior a 1,0 ppmv (parte por milhão em volume) na atmosfera interna do melão rendilhado. Dessa forma, verificaram que concentrações de etileno suficientes para induzir o amadurecimento, que eles presumiram ser da ordem de 1,0 ppmv, se acumulavam na atmosfera interna das frutas, enquanto a taxa de evolução de etileno continuava ainda não detectável, pelos métodos tradicionais com o uso de cromatografia a gás, em sistema aberto, ou fechado.

Extrair por meio de uma seringa com agulha longa é o mais simples dos métodos, porém causa fermento nos frutos e funciona perfeitamente apenas em órgãos com cavidade interna. Para órgãos mais aquosos ou que possuem volumes gasosos diminutos, como é o caso dos tubérculos de batata, o método é inapropriado (Figura 7). Veja-se que, em um tubérculo de batata com 0,3% de volume gasoso intercelular (Tabela 1), remover 1 mililitro de ar com uma seringa significa remover mais do que todo o volume gasoso intercelular de um tubérculo com volume de 100 mL. Na prática, quando se remove rapidamente 1 mL de gás de um tubérculo dessa dimensão, de fato, a amostra da atmosfera interna estará grandemente contaminada pelo ar da atmosfera que circunda o órgão.



**Figura 7:** Amostra gasosa sendo removida de um fruto de maçã cv 'Granny Smith' com uma seringa. Nota-se uma camada de silicone (cola de silicone neutro), afixada sobre o fruto para evitar a entrada de ar através do orifício produzido pela agulha de coleta. Foto: Camila Fernanda Borges.

**Tabela 1:** Dados de volume gasoso e de pressão de turgescência, ou firmeza típica, medida pela técnica de aplanção (*kPa*) em algumas hortaliças recém-colhidos. Adicionalmente, a tabela contém impressões qualitativas referentes à tolerância à compressão, que é menor em órgãos com elevado volume gasoso, e à tolerância ao impacto que é maior nos órgãos acolchoados por um maior volume gasoso intercelular interno. Baseado em Calbo (2008).

Hortaliça	Cultivar	Volume gasoso (%v/v)	Firmeza ( <i>kPa</i> )	Tolerância à compressão	Tolerância ao impacto
Abóbora	Jacarezinho	5,47	400	elevada	elevada
Batata	Achat	0,3	500	elevada	média
batata-baroa	-	1,36	600	elevada	média
batata-doce	Brazlândia	6,9	500	elevada	média
	Rosada				
Berinjela	-	40	100	reduzida	elevada
beterraba	-	2,9	500	elevada	média
Cebola	São Paulo	10,1	500	elevada	média
Cenoura	Brasília	2,1	700	elevada	baixa
Chuchu	-	2,75	2	elevada	elevada
Jiló	-	40%	1,5	reduzida	elevada
Laranja	Pera	-	0,8	elevada	elevada
Maçã	Golden Delicious	22%	2	média	reduzida
mandioca	-	4,1	-	elevada	reduzida
Maracujá	Amarelo	30	-	média	elevada
Tomate	Kada	6	1	reduzida	reduzida

d) Para superar algumas das dificuldades consideradas no parágrafo anterior, Smith (1965) desenvolveu um protocolo de extração lenta, no qual se injeta uma seringa no interior do órgão e, a seguir, a cada dez minutos, por exemplo, puxa-se com o êmbolo cerca de 0,1 mL do gás da atmosfera interna até completar-se o volume de 1 mililitro. Essa extração lenta foi proposta por Smith (1947). O uso de uma fita adesiva para evitar retorno de ar da atmosfera externa para amostra também é relevante. Dependendo do órgão, ainda assim, pode haver alguns problemas como a obstrução dos volumes gasosos intercelulares com o fluido hipertônico das células rompidas, o que pode causar coleta de líquido da amostra e extração não desejada de gases dissolvidos nas células.

## 9. Desidratação relativa por volumetria

Para estimar a desidratação, mede-se o volume inicial de segmentos do órgão. Nesta observação, este volume tomado, por exemplo, de segmentos do pericarpo de frutos de abóbora ou de tomate será medido por pesagem hidrostática. Na pesagem hidrostática, o denominado método de Arquimedes, o volume inicial ( $v_i$ ) do órgão é o produto da massa de água deslocada  $m_o$  dividido pela densidade da água ( $d \cong 1,00$ ). Na sequência, o produto é rapidamente hidratado por tratamento dos segmentos imersos em água com vácuo, durante 1 minuto, tempo suficiente para remover mais de 99% do volume de gases contido na atmosfera interna, seguido de um período subsequente em que os segmentos, ainda imersos, repousam sob a água na pressão ambiente por 10 minutos. Durante esse período de repouso, a pressão do ar atmosférico, incidindo sobre a superfície da água, força a infiltração da água nos volumes gasosos intercelulares, que foram 99% evacuados pela aplicação do vácuo. A hidratação propriamente dita, por outro lado, ocorre de maneira rapidíssima logo que o ar dos volumes intercelulares é substituído por água, causando o incomum contato direto das células com a água livre. O procedimento de hidratação a vácuo preconizado por Czernski (1964, 1968) é uma forma de se obter hidratação máxima dos tecidos em poucos minutos, evidentemente, de uma maneira destrutiva.

O volume do segmento hidratado final ( $v_h$ ) é medido da mesma forma, pelo método da pesagem hidrostática. A desidratação relativa ( $d_r$ ), parâmetro ainda em desenvolvimento, é, então, calculado como porcentagem aplicando-se a equação 1:

$$d_r = 100 (1 - v_i / v_h) \quad \text{eq. 1}$$

De maneira análoga, o complemento da desidratação relativa – teor relativo ( $r_w$ ) – é dado por:

$$r_w = 100 v_i / v_h \quad \text{eq. 2}$$

O método de infiltração a vácuo para medir o teor relativo de água, uma adaptação do método Czernski (1964), foi proposto para suprimir o erro de crescimento das amostras, que ocorre no método tradicional de hidratação de folhas quando são utilizados métodos lentos de saturação (SLAVICK, 1974; CALBO; NERY, 1994). No método tradicional, as folhas são colocadas entre toalhas de papel embebidas com água. Como o procedimento de hidratação é lento, cerca de um dia, causa uma mistura entre os efeitos do crescimento e da hidratação.

Os dados coletados para medir a hidratação com a equação 2 podem, adicionalmente, serem usados para calcular o volume gasoso intercelular, graças a aplicação de vácuo seguida de um período de infiltração para o tecido evacuado imerso em água, aplicando-se a equação referente ao método de massa e volume de Calbo e Nery (1995b).

Esse método possibilitaria avaliações do estado hídrico de frutas e hortaliças no mercado, de maneira relativamente rápida. Uma forma ainda mais rápida e ainda menos estudada de avaliar estresses hídricos em pós-colheita e em ecofisiologia poderia valer-se do fato de que, em tecidos sadios, a firmeza medida pela técnica de aplanção aumenta muito logo após a infiltração a vácuo (CALBO, 1990) e depois diminui no tempo, por um processo de relaxamento (crescimento). Essa diferença de pressão de turgescência também pode ser utilizada para elaborar parâmetros similares ao das equações 1 e 2, com a vantagem de dispensar pesagens, o que facilita a aplicação em campo. Assim, por esse método pode-se estimar o parâmetro desidratação relativa ( $\rho_r$ ) em termos de pressão com a expressão:

$$\rho_r = 100 (1 - P_i / P_h) \quad \text{eq. 3}$$

Onde  $P_i$  é a pressão de turgescência celular inicial, medida com a técnica de aplanção, ou com outro sistema equivalente, e  $P_h$  é pressão de turgescência do tecido hidratado a vácuo.

A desidratação relativa, especialmente se obtida com a equação 3, é uma medida suficientemente prática para ser rapidamente implementada em aplicações de ecofisiologia e pós-colheita a campo, requerendo, para isso, apenas uma bomba de vácuo manual facilmente disponível, além do Wiltmeter, para folhas ou do Aplanador para frutos. A potencialidade prática dessas medidas deve, no entanto, ser tomada com cautela à luz dos atualmente conhecidos efeitos do desenvolvimento vegetal sobre a capacidade de desenvolver pressão de turgescência celular. Assim, medidas comparáveis de desidratação relativa certamente serão válidas principalmente na comparação entre órgãos amostrados no mesmo estágio de desenvolvimento, por exemplo, em frutos com similar estágio de amadurecimento.

## 10. Poder evaporativo do ar

O poder evaporativo do ar, ou evaporatividade, ao redor de frutas e hortaliças depende da temperatura, da umidade relativa, da velocidade do vento e da pressão barométrica. O modelamento dinâmico dessas variáveis em aplicações de mercado é complexo e ainda não foi alcançado pelo desenvolvimento de modelos minimamente abrangentes (CALBO; FERREIRA, 2010).

Um instrumento que pode ser utilizado para medir o poder evaporativo do ar é o atmômetro de pós-colheita. Este instrumento tem flexibilidade para ser utilizado em diferentes ambientes incluindo o interior de embalagens, pontos específicos nos armazéns e nos mais variados ambientes de transporte e de distribuição de frutas e hortaliças.

O atmômetro de pós-colheita (Figura 8) é constituído de uma cápsula porosa, fechada com rolha, à qual se adiciona água. Após fechar o instrumento, o excesso de água sobre o elemento poroso é removido com uma toalha. Sua leitura da perda de peso expressa em milímetros por dia (*mm/dia*) pode ser comparada com outras relevantes expressões de biologia e agrometeorologia de mesma unidade. Assim, também são expressos em *mm/dia* a transpiração por unidade de área, visto que *mm/dia* é igual a litros de água evaporada por metro quadrado por dia, os dados pluviométricos e evidentemente outros tipos de dados de evaporação de outros tipos de evaporímetros disponíveis no mercado.

No atmômetro de pós-colheita, o poder evaporativo do ar em milímetros por dia (*mm dia<sup>-1</sup>*) é calculado dividindo-se a perda de água em litros pela área de evaporação do instrumento, que é 0,0067 m<sup>2</sup> e pelo tempo em dias.



**Figura 8:** Foto de um atmômetro de pós-colheita para medir poder evaporativo do ar (evaporatividade) em *mm/dia*. As características físicas do atmômetro são: a) Corpo de cápsula porosa branca, ao qual se adiciona água através de um orifício, que é fechado hermeticamente com uma rolha. As dimensões desse instrumento são 55 *mm* de diâmetro, 90 *mm* de comprimento e uma faixa de evaporação com 25 *mm* de largura e uma área de evaporação total de 0,0067 m<sup>2</sup>. A área não evaporante da cerâmica é recoberta com esmalte branco e o instrumento é envolto por uma espiral de fio de poliamida branco 0,5 *mm* com passo de 2 *mm*, para poder ser incluída no interior de embalagens em contato direto com produtos não molhados. Foto: Camila Fernanda Borges.

Medidas de poder evaporativo do ar possibilitam o monitoramento e a tomada de decisões relativas a balcões refrigerados, a sistemas de refrigeração e de umidificação, a embalagens e a modais de transporte. Para pesquisa aplicada, essas leituras do poder evaporativo do ar podem ser comparadas diretamente com a transpiração dos órgãos vegetais, expressa em milímetros por dia (*mm dia<sup>-1</sup>*).

Aproveitando-se do fato de que a transpiração e o poder evaporativo do ar podem ser expressos na mesma unidade, então, as variáveis podem não só serem comparadas mas também relacionadas ou proporcionalizadas. Assim, pode-se definir o termo transpiração relativa, como um novo parâmetro cujo valor varia entre zero e um. A transpiração relativa é uma variável adimensional, que poderá ter valiosas aplicações agroindustriais. Assim, a transpiração relativa poderá ser utilizada para a comparação de embalagens, de filmes hidrofóbicos, de locais e de épocas. Conseqüentemente, com o conceito de transpiração relativa se tornará mais simples fazer comparações, por exemplo, da comparação experimental da capacidade de armazenamento entre espécies e variedades fundamentadas em ensaios realizados em diferentes épocas e em ambientes que não são estritamente controlados.

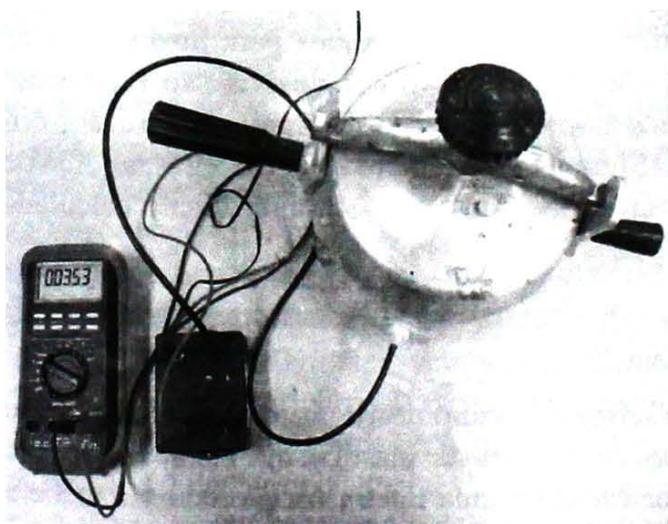
Uma pequena dificuldade para a utilização do parâmetro transpiração proporcionalizada é a necessidade de se medir a área da superfície das frutas e hortaliças, o que possibilita o cálculo da transpiração em mm/dia. As potencialidades do conceito, no entanto, justificam o trabalho. A área da superfície da fruta ou hortaliça pode ser determinada com relativa facilidade, por exemplo, utilizando-se de um método baseado na projeção ortogonal do órgão sobre uma superfície translúcida, o que é relativamente rápido.

## 11. Resistência difusiva e transpiração

Resistência difusiva à transpiração e a própria transpiração, quando é dado o déficit de pressão de vapor, podem ser medidas com auxílio de uma câmara hermética, denominada porômetro de pós-colheita (CALBO, 2005), ou câmara de transpiração (Figura 9). Nesse instrumento, a resistência difusiva ( $r$ ) ao transporte de vapor de água através do tecido dermal do órgão é dada por:

$$r = m t_{1/2} / [V \text{Ln}(1/2)] = 1,443 m t_{1/2} / V \quad \text{eq. 4}$$

Onde  $m$  é a massa do produto (kg),  $V$  é o volume de ar interno da câmara de transpiração (m<sup>3</sup>),  $t_{1/2}$  é o tempo em segundos para reduzir o déficit de pressão de vapor pela metade. Os métodos para obter  $t_{1/2}$  podem ser a manometria a volume constante, que é prática, ou o tempo para que o volume de vapor de água evaporado atinja metade do volume de saturação de vapor de água na câmara de transpiração, em volumetria a pressão constante, o que é interessante uso em demonstrações. Empregando-se o sistema métrico – resistência difusiva à transpiração, ( $r$ ) é dada em  $s m^{-1} kg^{-1}$ .



**Figura 9:** Fotografia de uma câmara de transpiração hermeticamente acoplada a um transdutor de pressão MPX2010, com escala de leitura entre 0 e 10 kPa e sensibilidade de 2,5 mV/kPa, ao ser alimentado por uma fonte de 10 Volts de corrente contínua. As conversões entre unidades de resistência difusiva e condutância e os respectivos cálculos sobre transpiração, resistividade e condutividade ao vapor de água baseados na equação 4, podem, na sequência, ser efetuados com auxílio de uma calculadora, isto é, um software especializado. Foto: Camila Fernanda Borges.

Para determinar a resistência difusiva descontando a resistência da camada laminar efetiva é prática molhar-se a superfície do fruto com uma toalha umedecida com água e sabão para medir o  $t_{1/2}$  e calcular o valor da resistência ( $r$ ), da camada limítrofe. Com esse valor, na sequência, estima-se a espessura da camada limítrofe em metros com a expressão:

$$\delta = 1,43 t_{1/2} A D / V$$

Onde  $A$  é a área do órgão em metros quadrados, e  $D$  é o coeficiente de difusão do vapor de água no ar, que é igual a  $0,000025 \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$  a  $20^\circ\text{C}$ .

Pode-se calcular a resistência difusiva também em outras unidades onde for necessário, por exemplo, multiplicando-se a equação 4 por  $RT$ , calcula-se a resistência difusiva, considerando-se que é o gradiente de déficit de pressão de vapor que governa a difusão do vapor da água - neste caso, a unidade experimental será  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-1}$ . Ou uma resistência difusiva com simples unidade de transpiração  $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , multiplicando-se a equação 4 por  $RT/P_B$  onde  $P_B$  é a pressão barométrica local. Esta última forma de expressar a resistência difusiva é a mais moderna, e o gradiente de vapor de água que governa o processo é o gradiente fração molar. O resultado apresentado desta última forma é independente da pressão barométrica local.

Medidas de resistência difusiva por unidade de massa podem ser utilizadas para a seleção de genótipos que perdem menos água por transpiração e para estimar o "déficit de pressão de vapor efetivo" entre o produto e o ambiente de armazenamento. Adicionalmente, dados sobre resistência ao transporte de vapor de água podem ser interessantíssimos do ponto de vista da fisiologia de pós-colheita. Em frutos de buriti (*Mauritia vinifera*), por exemplo, o arranjo compacto das escamas torna-se mais frágil e mais permeável ao vapor de água durante o amadurecimento (SANTELLI, 2005; SANTELLI et al., 2009). Adicionalmente, nestes frutos, a simples manutenção de ambiente de umidade relativa elevada é capaz de aumentar a vida pós-colheita em três vezes. O poderoso efeito do poder evaporativo do ar sobre a aceleração do amadurecimento nos frutos de buriti é diferente de todos os outros frutos já estudados, inclusive em frutos climatéricos de palmeiras como o *Syagrus oleracea* (SANTELLI, 2005). Tipicamente, nos poucos trabalhos em que houve preocupação com medições de perda de água dos frutos, não houve relato de relacionamento entre amadurecimento, fim do estágio pré-climatérico e o poder evaporativo do ar, por exemplo, indicado pela umidade relativa.

## 12. A degradação da lamela média

A medição da firmeza de frutas e hortaliças de acordo com a força necessária para que uma ponteira penetre, ou vaze para o interior do órgão, é uma forma de aferir indiretamente o nível de degradação da lamela média em frutos como o caqui, a manga, a goiaba e o tomate. Instrumentos que medem essa força para perfurar ou penetrar o órgão são denominados penetrômetros. Instrumentos para medir força de penetração, evidentemente, são variados. Alguns tipos de penetrômetros, inclusive, são facilmente produzíveis pelo próprio observador. Um deles, de boa confiabilidade e de fácil construção, é o penetrômetro a gás descrito por Calbo e Moretti (2002) (Figura 10). No penetrômetro a gás, a força de penetração ( $F$ ) com a qual uma ponteira especificada fura o tecido da fruta ou hortaliça é calculada com a expressão:

$$F = A p_b [(v_i / v_f) - 1] \quad \text{Eq. 6}$$

Onde  $A$  é a área da secção transversal do êmbolo de uma seringa de vidro de  $10 \text{ ml}$ ;  $v_i$  é o volume inicial ajustado em ( $0 \text{ ml}$ );  $v_f$  o volume final é marcado graças a um anel interno de plástico, que é empurrado pelo êmbolo, entre a posição inicial ( $v_i$ ) posição final ( $v_f$ ), por causa de uma ligeira fricção entre o anel e a parede interna da seringa; e  $p_b$  é a pressão barométrica local em  $\text{kgf/cm}^2$ .

No penetrômetro a gás, além da ponteira cilíndrica e do anel de marcar posição, há mais dois itens essenciais: a) a tampinha de vedação, que é preparada removendo-se a agulha com um alicate e vedando-se o orifício com cola à base de epóxi; e b) uma haste de arame com a ponta recurvada com a qual se puxa para fora da seringa o anel de marcação de posição ou de volume ( $v_i$  e  $v_f$ ). Um cuidado importante com o

penetrômetro a gás consiste em molhar o êmbolo com água destilada, para assegurar a completa hermeticidade da seringa, o que é essencial para a validade da equação 6.

Como os dados de pressão barométrica, em geral, estão dados em *Pa* ou em *mm* de Hg, então para o cálculo da firmeza precisa-se, adicionalmente, levar em consideração que  $1 \text{ kgf/cm}^2$  de pressão é equivalente a 735,6 mm de Hg, ou a 98066 Pa.

Os cuidados para o uso dos penetrômetros, inclusive o penetrômetro a gás aqui descrito, são:

a) Para a maioria dos usos, o tecido dermal deve ser tangencialmente removido com uma lâmina afiada antes de se fazer o ensaio de penetração;

b) Os resultados de penetração devem ser apresentados em unidades de força, por exemplo, Newton (*N*) ou quilograma força (*kgf*);

c) O valor dos resultados obtidos com o penetrômetro é de natureza comparativa. Por isso, deve-se verificar se o diâmetro e o formato da ponteira são os recomendados na literatura. Tipicamente, as ponteiras são cilíndricas, cônicas ou arredondadas. A ponteira mais usada tem sido a cilíndrica de 8 mm, que tem sido empregada, por exemplo, em abacate, maçã, nectarina e tomate. Ponteiras cônicas são eventualmente empregadas para avaliar a resistência da cutícula;

d) Durante as medições, deve-se tomar o cuidado de pressionar todos os frutos segurando adequadamente o penetrômetro, sempre da mesma maneira. Alternativamente, o penetrômetro pode ser afixado em uma alavanca para melhorar a consistência dos ensaios de penetração.



**Figura 10:** Foto de um penetrômetro a gás com ponteira cilíndrica de 8 mm, contendo um anel plástico de marcação interna. Um cuidado específico no uso deste penetrômetro a gás consiste em molhar o êmbolo com água destilada para assegurar a hermeticidade da seringa, o que é essencial para a validade da equação 6. Foto: Camila Fernanda Borges.

Penetrômetros portáteis vêm sendo utilizados para a avaliação da qualidade e do ponto de colheita de diversas frutas e hortaliças. No amadurecimento, tipicamente, a firmeza diminui em frutos climatéricos como o caqui, a maçã, o melão, a pêra, o pêssego e o tomate. Nestes frutos, a degradação de componentes da parede celular, principalmente da lamela média, que cimenta as células unidas em sua estrutura poliédrica, é uma importante componente da perda de firmeza, a qual os penetrômetros são sensíveis.

Cabe, no entanto, salientar que penetrômetros, tipicamente, não são úteis para avaliar a variação de firmeza causada por desidratação. Isso decorre do fato de que, em geral, a desidratação não é acompanhada do enfraquecimento da cimentação entre as células na lamela média; em vista disso, é comum observar aumento na leitura da força de penetração em produtos submetidos à desidratação. Para desidratação, por se tratar de uma componente de firmeza que depende da turgescência celular, é preferível empregar

instrumento mais apropriado, por exemplo, o aplanador desenvolvido na Embrapa Hortaliças (CALBO; NERY, 1995a) para medir pressão de turgescência, conforme será descrito a seguir.

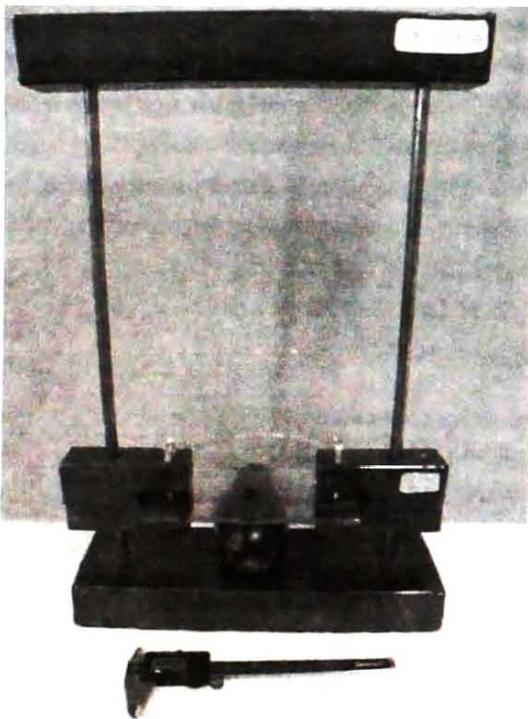
### 13. Percepção tátil da firmeza

A percepção tátil da firmeza dependente da pressão de turgescência celular pode ser quantificada de acordo com a determinação desta firmeza pelo método de aplanação (CALBO; NERY, 1995a). De acordo com essa técnica, uma placa de vidro transparente é comprimida contra a superfície vegetal por uma força conhecida, o que aplaina uma pequena área do órgão sob a placa de vidro. A firmeza, ou pressão de turgescência, é então calculada com a equação 7:

$$P = F/A \quad \text{eq. 7}$$

Onde  $F$  é a força aplicada pela placa de vidro contra o órgão, e  $A$  é a área aplainada que se mede sob a placa de vidro com auxílio de um paquímetro. A área elíptica aplainada entre o fruto e a placa de vidro é aproximadamente igual ao produto do diâmetro maior (comprimento) vezes o diâmetro menor (largura) e vezes  $\pi/4$ , que é aproximadamente igual a 0,785. Estes valores do comprimento e largura (Figura 11) são medidos com um paquímetro.

A pressão de turgescência  $P$  é uma medida de firmeza dependente da turgidez celular ( $P$ ), é também denominada pressão de aplanação e de fato representa uma subestimativa da pressão de turgescência das células, tipicamente com erro menor que 10% (CALBO; NERY, 2000; CALBO; FERREIRA, 2010).



**Figura 11:** Foto de um aplanador com placa transparente pesando, por exemplo, 0,914 kgf, com o qual se estima a pressão de turgescência dos tecidos de frutas e hortaliças, dividindo-se este peso pela área amassada na superfície do órgão. A área amassada é o produto do comprimento vezes a largura da figura de amassamento multiplicada por 0,785 ( $\pi/4$ ) (CALBO; NERY, 1995a). Foto: Camila Fernanda Borges.

### 14. Meia-vida pós-colheita

Este método introduzido pelo professor Wilson Roberto Maluf, da Universidade Federal de Lavras, fundamenta-se no fato de que, em frutos de tomate armazenados a temperaturas superiores a 15°C, a firmeza medida com a técnica de aplanação diminui seguindo um padrão de decaimento exponencial (ANDRADE-JUNIOR et al., 2005) do tipo:

$$Y = B + A \exp(-t/t_{1/2})$$

eq. 8

Onde  $A$  é a firmeza inicial ( $N m^{-2}$ ) dos frutos no estágio *breaker*; isto é, logo no início do amadurecimento, momento que é tomado como dia zero ( $t_0 = 0$ ) e que, segundo o professor Wilson Maluf, é determinado em tomate com erro de  $\pm 1$  dia;  $t$  é o número de dias decorridos após o início do amadurecimento, o que vem sendo tomado como o estágio “*breaker*” na classificação de amadurecimento por padrão de cores do fruto (USDA, 1976);  $t_{1/2}$  é a meia-vida da firmeza medida em dias;  $Y$  é a firmeza ( $Pa$ ) após decorridos  $t$  dias; e  $B$  é a pressão basal, um parâmetro assintótico, que é característica da cultivar estudada, e que por simplificação Andrade-Junior et al. (2005), como aproximação, tomaram como zero. O ajuste experimental dos dados pode ser feito por um programa de ajuste de funções não lineares de crescimento como o descrito por (CALBO et al., 1989), por exemplo. Tais programas de ajuste matemático para funções não lineares, atualmente, estão se tornando cada vez mais fáceis de usar.

O conceito de meia vida de pós-colheita ainda não foi validado para outros frutos climatéricos, além do tomate. Também não foram ainda testadas outras variáveis, facilmente mensuráveis, que decaem exponencialmente com o tempo, para que a determinação da meia vida pós-colheita de frutos possa ser efetuada em outras bases. Para o tomate, a meia vida de pós-colheita tem servido para discriminar a capacidade de armazenamento entre cultivares armazenadas em ambientes definidos de armazenamento.

Atualmente as cultivares de tomate no mercado brasileiro não dispõem mais de gene marcador de amadurecimento, como ocorria, por exemplo, com a cultivar ‘Kada’. Consequentemente, definir o estágio “*breaker*” de amadurecimento dificulta o uso do método conforme vem sendo empregado (ANDRADE-JUNIOR et al., 2005). Segundo o prof. Wilson Maluf, no caso de frutos de tomate, o problema é menos crítico que em outros frutos climatéricos, visto que nos trabalhos que eles têm publicado, para genótipos de tomate, observou-se que usuários experientes podem definir o início de amadurecimento (“*breaker*”) com erro de 1 dia. Para outros frutos com padrão de amadurecimento, o erro na definição do início do amadurecimento seria muito maior em goiaba, manga ou abacate. O professor Wilson também relata que o gene que dá o belo padrão de amadurecimento iniciado na extremidade estilar, na atualmente pouco popular cultivar ‘Kada’, do grupo Santa Cruz, é o gene  $u+$  (green shoulder).

A dificuldade para a definição do momento em que o amadurecimento de frutos climatéricos é iniciado, porém, é facilmente superável, bastando para tal que se defina o início do amadurecimento sem se preocupar, com a definição visual do início do amadurecimento. O início do amadurecimento desses frutos pode ser facilmente estimado de acordo com o momento em que começam a perder firmeza. O ajuste matemático é, então, feito apenas sobre os dados, após a perda de firmeza se tornar evidente. O tempo zero em dias se define logo que a pressão de turgescência começa a diminuir. Os dias até a pressão de turgescência começar a diminuir são denominados dias de armazenamento pré-amadurecimento. Estes dias antes de iniciar a contagem do tempo para determinar o  $t_{1/2}$  e a pressão de turgescência basal ( $B$ ), de fato devem coincidir com o que se denomina vida pré-climatérica de armazenamento, o que pode ser confirmado mediante apropriadas leituras de evolução de etileno, ou melhor, mediante a medida da concentração de etileno na atmosfera interna dos frutos.

Esse intrigante comportamento dos frutos climatéricos ainda não foi detalhadamente estudado, mas sabe-se que está relacionado com a perda da capacidade dos frutos reterem solutos no protoplasto (CALBO; MORETTI, 1995), fator que é fundamental para a manutenção da pressão de turgescência celular. Ao final do amadurecimento, as células do fruto somente são capazes de promover transporte ativo para manter a pressão basal.

## 15. Altura das pilhas de frutas e hortaliças

Para quantificar a tolerância ao amassamento, pode-se utilizar a pressão de turgescência celular como variável acessória. A pressão de turgescência, como foi visto, é obtida, aproximadamente, pela relação entre a força aplicada e a área de contato entre uma placa de vidro transparente com a superfície das frutas de hortaliças. Com esse dado, a altura tolerável que as pilhas de frutas e hortaliças podem ter é calculada de

maneira simples pelo método de Luengo et al. (2003). Segundo esse método, a firmeza medida por aplanção ( $P$ ), ou pressão de turgescência, relaciona-se com a máxima altura tolerável de um produto hortícola pela expressão:

$$H = 50 P / \rho_{Ap} \quad \text{eq. 9}$$

Onde  $P$  é a firmeza medida com a técnica de aplanção, e o peso específico  $\rho_{Ap}$  pode ser tomado com valor igual à  $d_{Ap}$ , isto é, a densidade aparente do produto por unidade de volume da pilha em  $g/cm^3$ , cujos valores aproximados para as principais frutas e hortaliças é citado por Luengo et al. (2003). O coeficiente 50, adimensional, decorre do fato de que Luengo et al. (2003) assumiram que uma área amassada dos órgãos, contra a área base da pilha, não deve exceder a 5%. Consequentemente, as alturas de pilhas de frutas e hortaliças que atendem a esse quesito não causam danos irreversíveis e perdas pós-colheita induzidas por amassamento. O efeito de alturas de pilhas sobre o amassamento de frutos, por enquanto, somente foi detalhadamente estudado para o tomate (PEREIRA; CALBO, 2000).

### 16. Altura das embalagens de frutas e hortaliças (tolerância)

A relação entre a força aplicada e a área aplainada na superfície de órgãos vegetais possibilita também estimar a altura das caixas para o acondicionamento de frutas e hortaliças (LUENGO et al., 2003), de modo a se assegurar proteção contra estresses de amassamento danosos. Para isso, utiliza-se a firmeza medida por aplanção ( $P$ ), descrita no item sobre percepção tátil da firmeza. A altura tolerável das embalagens em centímetros é, então, calculada com a seguinte expressão:

$$H = 25 P / \rho_{Ap} \quad \text{eq. 10}$$

Onde  $P$  é a firmeza medida com a técnica de aplanção, e o peso específico  $\rho_{Ap}$  pode ser tomado com valor igual à  $d_{Ap}$ , que é a densidade aparente do produto por unidade de volume da pilha em  $g/cm^3$ . Os valores aproximados de  $d_{Ap}$  para as principais frutas e hortaliças são apresentados por Luengo et al. (2003). O coeficiente de proporcionalidade 25, adimensional, é obtido considerando-se que, por segurança, durante o transporte, o produto embalado é submetido, na média, a acelerações de impacto e de vibração que são da ordem de duas vezes a aceleração da gravidade ( $2g$ ). Assim, para acondicionamento de frutas e hortaliças em embalagens, o coeficiente 25, decorre do fato de que a área amassada dos frutos (órgãos) contra a área da base da caixa não deve exceder a 5%, para proteger a carga contra danos fisiológicos de amassamento, como aqueles que foram induzidos em frutos de tomate por Pereira e Calbo (2000).

### 17. Pressão de turgescência das folhas

A pressão de turgescência das folhas é uma variável de qualidade muito valorizada pelos consumidores. A avaliação quantitativa da pressão de turgescência foliar pode agora ser mensurada com um novo instrumento denominado Wiltmeter®, desenvolvido na Embrapa Instrumentação, fabricado pela empresa Marconi Equipamentos para Laboratório (Figura 12). As leituras efetuadas com o Wiltmeter® correlacionam-se com as medições de pressão de turgescência celular em alface, chicória e couve (FERREIRA; CALBO, 2008; CALBO et al., 2010).



**Figura 12:** Instrumento Wiltmeter® para medir a pressão de turgescência celular de folhas. Foto: João Leire Palomares.

## 18. Limiar de firmeza para folhosas

Durante a comercialização, dependendo do ambiente de armazenamento, as folhosas como a alface, a couve e a chicória perdem água rapidamente e, em consequência, perdem também a pressão de turgescência e o valor comercial (SPRICIGO et al., 2009a, b, c, d; BERTINI et al., 2009). Ocorrência similar também é observada para flores. Por exemplo, para o crisântemo, Spricigo et al. (2009 a, b, c, d) observaram que a pressão de turgescência no CEASA-Campinas variou de 72 a 140 *kPa* e que a qualidade dessas flores diminui na proporção em que houve perda da pressão de turgescência das pétalas.

Medir pressão de turgescência com o Wiltmeter® é rápido e seguro, enquanto que outros métodos disponíveis para medir a perda de água, por exemplo, mediante a avaliação do seu teor relativo de água ou com o módulo de elasticidade volumétrico (CALBO; FERREIRA, 2009) são mais difíceis e envolvem análises laboratoriais e erros experimentais que não serão considerados, no momento.

Com fundamento nas medições de pressão de turgescência com o Wiltmeter®, é simples definir-se valores mínimos ou valores limiares de firmeza limiares, em *kPa*, que tecnicamente assegurem que folhas e flores apresentam o mínimo estado de hidratação para possibilitar comercialização. Por exemplo, para o estudo da qualidade da alface americana e da couve, Spricigo et al. (2009 a, b, c, d) apresentam figuras com níveis de balizamento que representam o mais alto nível típico da pressão de turgescência destes produtos no momento da colheita e o menor, tomando, como limiar mínimo de qualidade, metade daquele valor. Para a venda em supermercado o limiar inferior pode ser ainda menor, possivelmente, um terço daquele valor. Assim, para a alface americana o limiar poderia ser tomado como 50 *kPa*, e para a couve como 90 *kPa*. Definições técnicas desse tipo para diferentes folhosas e produtos minimamente processados poderão ser desenvolvidas, para o balizamento da qualidade, nos próximos anos.

## 19. Turgescência característica

A firmeza característica, ou pressão de turgescência característica, das frutas e hortaliças volumosas como tomate, manga, goiaba, melão, batata e cenoura, futuramente deverá ser quantificável pelos consumidores na hora da compra, no varejo. Tal nível de sofisticação esperado será com muita probabilidade atingido graças aos promissores desenvolvimentos de instrumentos de uso popular. Assim, com informação técnica tabelada e com instrumentos de grande simplicidade, as pessoas saberão, por elas mesmas, se o produto que estão adquirindo, de acordo com a espécie, a cultivar e o estágio de amadurecimento, possui as características desejáveis no momento do consumo.

## Referências

- ANDRADE-JÚNIOR, V. C.; MALUF, W. R.; FARIA, M. V.; BENITES, F. R. G.; SANTOS-JÚNIOR, A. M. Produção e qualidade de frutos de tomateiros portadores de alelos mutantes de amadurecimento e coloração. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 6, p. 555-561, 2005.
- BERTINI, V. A.; SPRICIGO, P. C.; CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D. Avaliação da perda de turgescência de alface crespa na pós-colheita utilizando o Wiltmeter. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 26, ago. 2009. Supl. 1 CD-Rom.
- CALBO, A. G. Fisiologia dos danos mecânicos em frutas e hortaliças. In: FERREIRA, M. D. **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. p. 129-144. v. 1.
- CALBO, A. G. Physiology of vacuum induced tomato fruit cracking. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 2, p. 55-61, 1990.
- CALBO, A. G. **Postharvest porometer to study transpiration and to measure vapor pressure deficit**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2005. 20 p. (Embrapa Hortaliças. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento; 08).
- CALBO, A. G.; SILVA, W. L. C.; TORRES, A. C. Ajuste de funções não lineares de crescimento. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 1, n. 1, p. 9 -18, 1989.
- CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D. **Atmômetro de pós-colheita**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2010. Folder.
- CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D. Índices de hidratação: propostas e avaliações iniciais em couve. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 12., 2009, Fortaleza. **Resumos...** Fortaleza: SBFV, 2009.
- CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D.; PESSOA, J. D. C. A leaf lamina compression method for estimating turgor pressure. **HortScience**, Alexandria, v. 45, p. 418 - 423, 2010.
- CALBO, A. G.; MORETTI, C. L. Diminuição da retenção de solutos no simplasma do tomate durante o amadurecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 5., 1995, Lavras. **Anais...** Lavras: SBFV, 1995. v. 1. p. 414 – 414.
- CALBO, A. G.; MORETTI, C. L. **Penetrômetro a gás para a avaliação da firmeza de frutos**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, Disponível em: <[http://www.cnph.embrapa.br/laborato/pos\\_colheita/penetrometro.htm](http://www.cnph.embrapa.br/laborato/pos_colheita/penetrometro.htm)>. Acesso em: 15 mar. 2002.
- CALBO, A. G.; MORETTI, C. L.; HENZ, G. P. **Uso do equipamento 'Facili' para medição da atmosfera interna de frutas e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007a. 5 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico; 48).
- CALBO, A. G.; MORETTI, C. L.; HENZ, G. P. **Uso do porômetro em estudos de pós-colheita de frutas e hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007b. 5 p. (Embrapa Hortaliças. Comunicado Técnico; 52).

- CALBO, A. G.; NERY, A. A. Absorção e infiltração de água por raízes de batata-doce, através de ferimentos durante a lavagem. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, n. 3, p. 547-551, 2000.
- CALBO, A. G.; NERY, A. A. Compression induced intercellular shaping for some geometric cellular lattices. **Brazilian Archives of Biology And Technology**, Curitiba, v. 44, p. 44-48, 2001.
- CALBO, A. G.; NERY, A. A. Medição da firmeza em hortaliças pela técnica de aplanção. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 13, n. 1, p. 14-18, 1995a.
- CALBO, A. G.; NERY, A. A. Methods for measurement of gas volume of fruits and vegetables. **Journal of The American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 120, p. 217-221, 1995b.
- CALBO, A. G.; NERY, A. A. Methods to measure gaseous volume in plants. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 6, p. 153-162, 1994.
- CALBO, A. G.; NERY, A. A.; HERRMANN, P. S. P. Intercellular deformation in compressed organs. **Annals of Botany**, London, v. 76, p. 365-370, 1995.
- CALBO, A. G.; PEREIRA, A. S.; HORINO, Y. Selante para controle do amadurecimento do tomate. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 6, n. 1, p. 48, 1988. Resumo.
- CALBO, A. G.; PEREIRA, A. S.; HORINO, Y. Selante para controle do amadurecimento do tomate In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 1988. Resumo... **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 6, n. 1, p. 48, 1988.
- CALBO, A. G.; SOMMER, N. F. Intercellular volume and resistance to air flow in fruits and vegetables. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 112, p. 131-134, 1987.
- CAMERON, A. C. **Gas diffusion in bulky plant organs**. Davis: University of California, 1982. PhD Thesis.
- CZERSKY, J. Gasometric method of volume determination of intercellular space in plant tissue. **Acta societatis botanicorum Poloniae**, Warszawa, v. 33, p. 247-262, 1964.
- CZERSKY, J. Gasometric method of water deficit measurement in leaves. **Biologia Plantarum**, Praha, v. 10, p. 275-283, 1968.
- DEVAUX, H. Etude experimentale sur l'aeration des tissus massifs: introduction a l'étude des mecanismes des échanges gazeux chez les plantes aeriennes. **Annales des Sciences Naturelles (Botanique)**, Paris, v. 14, p. 279-395, 1891.
- FERREIRA, M. D. **Colheita e Beneficiamento de frutas e Hortaliças**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008, v. 1, p. 144.
- FERREIRA, M. D.; CALBO, A. G. Avaliação para a incidência de danos mecânicos em frutas e hortaliças. In: FERREIRA, M. D. **Colheita e beneficiamento de frutas e hortaliças**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. v. 1, p. 117-128.

- GUEDES, Í. M. R. **Mudanças climáticas globais e a produção de hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 132 p.
- HENZ, G. P.; NERY, A. A.; CALBO, A. G. Controle do amadurecimento do tomate visando exportação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 12, n. 1, p. 82, 1994. Resumo.
- LACERDA, F. C. **Efeitos das acelerações e frequências durante o transporte do figo 'roxo de Valinhos'**. 2004. 98 f. Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- LAURENT, R. **Efeito de esforços vibracionais na estrutura do tecido vegetal**. 2003. 199 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G. **Armazenamento de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2001. v. 1. p. 242.
- LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G. **Embalagens para comercialização de hortaliças no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2009. v. 1. p. 256.
- LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G.; JACOMINO, Â. P. Tomato (*Lycopersicon esculentum* P. Miller) compression due to "K" wood box closing. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, p. 746-750, 2010.
- LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G.; JACOMINO, Â. P. Vegetable crops deformation assays for package height definition: a new approach. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 180-185, 2008.
- LUENGO, R. F. A.; CALBO, A. G.; JACOMINO, A. P.; PESSOA, J. D. C. Avaliação da compressão em hortaliças e frutas e seu emprego na determinação do limite físico da altura da embalagem de comercialização. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 21, p. 704-707, 2003.
- LYONS, J. M.; MACGLASSON, W. B.; PRATT, H. K. Ethylene production respiration and internal gas concentrations in cantaloupe fruits at various stages of maturity. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 37, p. 31-36, 1962.
- MAGNESS, J. R. Composition of gases in intercellular spaces of apples and potatoes. **Botanical Gazette**, Chicago, v. 13, p. 349-357, 1922.
- NERY, A. A.; CALBO, A. G. Adapting constant-volume manometry for studying gas exchange by bulky plant organs. **Journal of The American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 119, p. 1222-1229, 1994.
- NOBEL, P. S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. San Diego: Academic Press, 1991. 635 p.
- PEREIRA, A. V.; CALBO, A. G. Elastic stresses and plastic deformations in 'Santa Clara' tomato fruits caused by package dependent compression. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 12, p. 2429-2436, 2000.

SANTELLI, P. **Fisiologia pós-colheita de frutos das palmeiras *Syagrus oleracea* (Mart) Becc. e *Mauritia vinifera* Mart.** 2005. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Botânica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005.

SANTELLI, P.; CALBO, M. E. R.; CALBO, A. G. Fisiologia pós-colheita de frutos da palmeira *Syagrus oleracea* (Mart.) Becc. (Arecaceae). **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 20, p. 523-528, 2006.

SANTELLI, P.; CALBO, M. E. R.; CALBO, A. G. Fisiologia pós-colheita de frutos da palmeira *Mauritia vinifera* Mart. (Arecaceae). **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v. 23, p. 697-702, 2009.

SLAVIK, B. **Methods of studying plant water relations.** Prague: Czechoslovak Academy of Sciences, 1974. 449 p.

SMITH, W. H. A new method for the determination of the composition of the atmosphere of flesh plant organ. **Annals of Botany**, London, v. 11, p. 363-368, 1947.

SPRICIGO, P. C.; BERTINI, V. A.; FERREIRA, M. D.; CALBO, A. G.; TAVARES, M. Avaliação da pós-colheita de alface hidropônica, em função da quantidade de raízes, utilizando o equipamento Wiltmeter. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 49., 2009, Aguas de Lindóia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 2, ago. 2009a. 1 CD-ROM.

SPRICIGO, P. C.; FERREIRA, M. D.; CALBO, A. G.; GUTIERREZ, A. de S. D.; FERRARI, P. R. Aplicação do equipamento Wiltmeter na mensuração da qualidade pós-colheita de folhosas durante a comercialização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 49., 2009, Aguas de Lindóia. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 27, n. 2, ago. 2009b. 1 CD-ROM.

SPRICIGO, P. C.; FERREIRA, M. D.; CALBO, A. G.; TAVARES, M. Comparação do equipamento Wiltmeter com dois métodos convencionais na determinação da turgescência de hastes de crisântemos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORICULTURA E PLANTAS ORNAMENTAIS, 17., 2009, Aracaju. Campinas: Sociedade Brasileira de Floricultura e Plantas Ornamentais, 2009c.

SPRICIGO, P. C.; OLIVEIRA, S. L. de; CALBO, A. G.; FERREIRA, M. D. Avaliação da pressão de turgescência na pós-colheita de crisântemos utilizando o Wiltmeter e aspectos de sua qualidade apontados pelos atacadistas do CEASA-Campinas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORICULTURA E PLANTAS ORNAMENTAIS, 17., 2009, Aracaju. Campinas: Sociedade Brasileira de Floricultura e Plantas Ornamentais, 2009d.

THODAY, M. A. On the capillary eudimetric apparatus of Bonnier and mangin for the analysis of air in investigating the gaseous exchanges of plants. **Annals of Botany**, London, v. 27, p. 565-573, 1913.

USDA. **United States standards for grades of fresh tomatoes.** Washington, 1976. 25 p. (U.S. Dept. Agr. Mktg. Serv.; 18).

WARDLAW, C. W.; LEONARD, E. R. Studies in tropical fruits. IV. Methods in the investigation of respiration with special reference to the banana. **Annals of Botany**, London, v. 3, p. 37-42, 1939.

WEBER, J. Intercellular space enhance potato tuber elasticity. **Potato Research**, Wageningen, v. 33, p. 335-336, 1990.