

## Métodos

# Estratégias para reduzir o estresse do processamento mínimo

Adriano N. Simões, Franciscleudo B. Costa, Marcelo Augusto G. Carnelossi, Ebenézer O. Silva e Rolf Puschmann\*



Verduras minimamente processadas exportas em supermercado: embalagens e refrigeração devem considerar processos fisiológicos

O processamento mínimo de frutos e hortaliças consiste na alteração física desses produtos por meio de operações de seleção, lavagem, classificação, corte ou fatiamento, sanitização, enxágüe, centrifugação, embalagem e refrigeração, realizadas de modo a se obter produtos comestíveis frescos, sem necessidade de preparos subsequentes. Por serem fisicamente modificados, os produtos

minimamente processados (PMPs) apresentam tecidos submetidos a condições de estresse, com comportamentos fisiológicos que podem acelerar a perda de qualidade, reduzir a vida útil e modificar seus atributos sensoriais. As principais alterações verificadas são: perda de integridade celular na superfície cortada, com consequente desidratação; alteração na firmeza; aumento da taxa respiratória;

crescimento da produção de etileno e da atividade de certas enzimas.

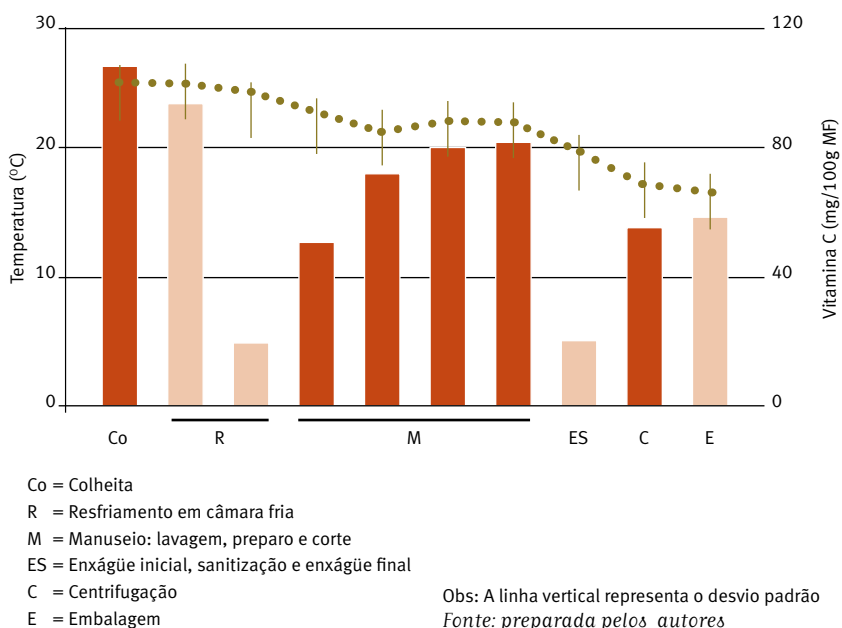
Estratégias, técnicas e métodos têm sido utilizados para o controle das alterações causadas pelo processamento mínimo, com destaque para o abaixamento da temperatura e a utilização de atmosfera modificada. A manutenção de uma cadeia de frio, do processamento à comercialização,

é, sem dúvida, a principal técnica disponível para se retardarem os efeitos indesejáveis do processamento mínimo, uma vez que o abaixamento da temperatura reduz todos os processos enzimáticos, ampliando a vida útil dos PMPs. Tecnicamente, a utilização das atmosferas modificadas, passivas ou ativas, é parte inerente ao processamento mínimo, consistindo no acondicionamento dos produtos em embalagens plásticas com permeabilidade seletiva aos gases e ao vapor de água.

### ESTRESSE DE CURTO PRAZO

Alterações perceptíveis na temperatura e nos teores das vitaminas causadas por danos mecânicos no tecido vegetal vivo ocorrem ao longo das etapas de processamento. Quanto mais prolongado for o tempo operacional dessas etapas, mais nítida e intermitente será a variação da temperatura associada à perda de vitamina C, principalmente nas etapas de manuseio, centrifugação e embalagem, nas quais se verifica aumento da temperatura do produto (Figura 1). Após o corte, o produto responde ao estresse entre uma e duas horas, com destaque para o aumento da respiração, da produção de etileno (fitormônio responsável pelo amadurecimento) e da atividade das enzimas que atuam no processo de

**FIGURA 1 | VARIAÇÃO DA TEMPERATURA (BARRAS) E DA QUANTIDADE DE VITAMINA C (LINHA) EM REPOLHOS, ANTES E DURANTE O PROCESSAMENTO MÍNIMO**

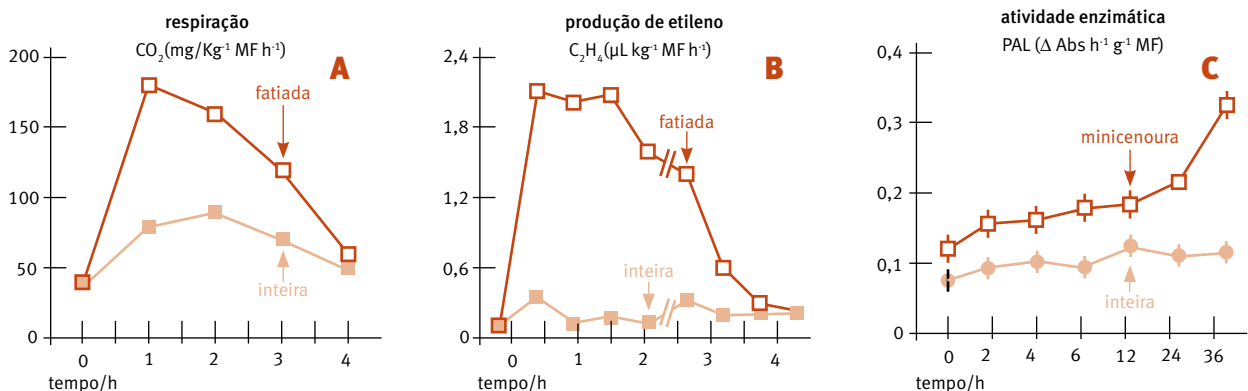


escurecimento dos tecidos, como, por exemplo, a fenilalanina amonialiase – PAL (Figura 2).

A prática de mergulhar a matéria prima por uma hora em água gelada (em torno de 5°C) logo após a colheita e também nas etapas de sanitização e enxágüe, reduz transitória e parcialmente a respiração, assim como a produção de etileno e a atividade enzimática, como pode ser veri-

ficado com a cenoura (Figura 3). Portanto, o hidrorresfriamento é uma prática alternativa viável e eficaz, procedida antes das operações do processamento mínimo, com o intuito de se reduzirem os estresses, principalmente os provocados pelo calor de campo e os visíveis nos produtos. Da mesma forma que as raízes, as partes folhosas devem também ser resfriadas, com o propósito de se remover o calor de

**FIGURA 2 | RESPIRAÇÃO, PRODUÇÃO DE ETILENO E ATIVIDADE ENZIMÁTICA DE COUVE (A), REPOLHO (B) E CENOURA (C)**



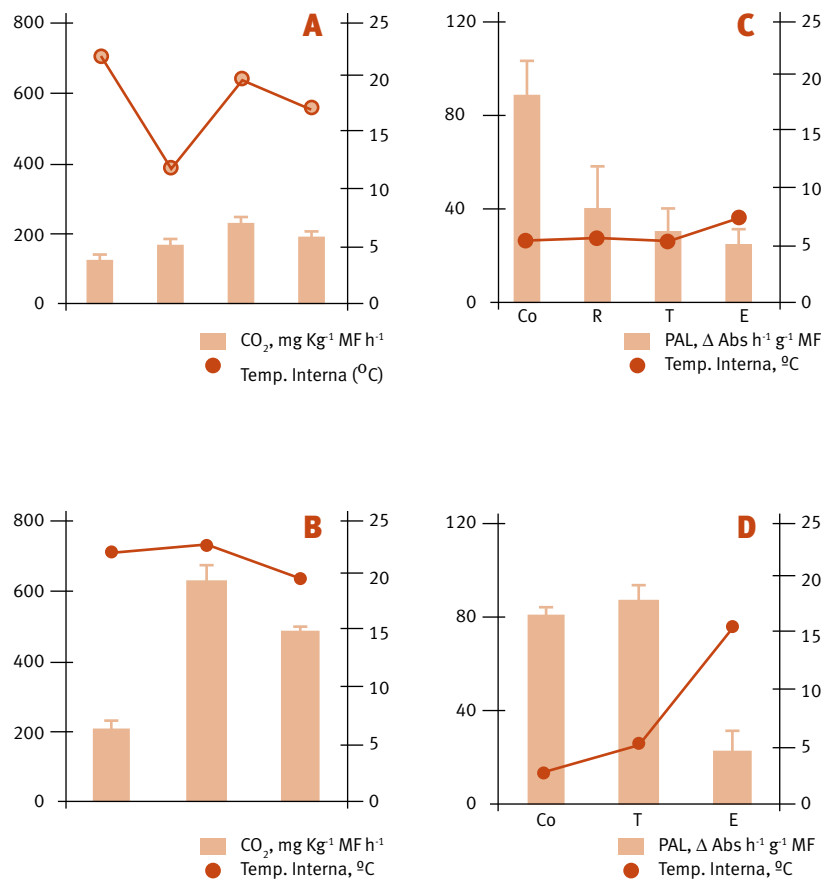
Fonte: preparada pelos autores

campo e abaixar a atividade metabólica. No caso da couve, o resfriamento por algumas horas antes do processamento mínimo e a sanitização em água gelada, em torno de 5°C, são suficientes para reduzir significativamente a atividade respiratória, em relação à sanitização à temperatura ambiente, em torno de 22° ± 2° C (Figura 4).

A centrifugação é uma etapa essencial no processamento mínimo de hortaliças. Tem-se mostrado, porém, uma etapa crítica para alguns produtos, principalmente os folhosos, devido a danos físicos como a ruptura do tecido foliar, observada em folhas de alface americana processadas inteiras (Figura 5 A). Quando a centrifugação é realizada em tempo insuficiente, há acúmulo de água ou de exsudatos de células rompidas, como se verifica no interior da embalagem (Figura 5 B), em folhas de alface americana processadas inteiras. A centrifugação realizada de forma inadequada afeta a aparência do produto, causando escurecimento de seus tecidos. Em cenouras minimamente processadas, a centrifugação em tempos acima dos adequados remove, além da água de sanitização e enxágüe, a água do produto, causando embranquecimento e perda da cor laranja nas extremidades das minicenouras (Figuras 5 C e D).

Outra característica muito afetada é a a respiração e a produção de etileno (Figura 5 E), que sofrem aumento. Em geral, as hortaliças minimamente processadas submetidas a tempos excessivos de centrifugação apresentam ressecamento ou desidratação, devido à perda excessiva de água do produto e conseqüente perda de qualidade visual. A desidratação em cenoura, beterraba e abóbora minimamente processadas é uma resposta física rápida que desafia a pesquisa e a tecnologia, pois resulta em perda da cor natural da superfície e, assim, em perda de qualidade e menor aceitação no mercado. Desde a década de 90, com os primeiros trabalhos em fisiologia de PMPs nos Estados Unidos, foram intensas as pesquisas

FIGURA 3 | RESPIRAÇÃO E PRODUÇÃO DE ETILENO (BARRAS), TEMPERATURA INTERNA (●) E ATIVIDADE ENZIMÁTICA (■) DE CENOURA ALVORADA, COM (A E C) E SEM (B E D) RESFRIAMENTO COM ÁGUA GELADA POR UMA HORA



Obs: A linha vertical representa o desvio padrão

Avaliações após:

Co = Colheita

R= Resfriamento

T = Torneamento

E = Enxágüe

CO<sub>2</sub> (mg/kg MF.h)

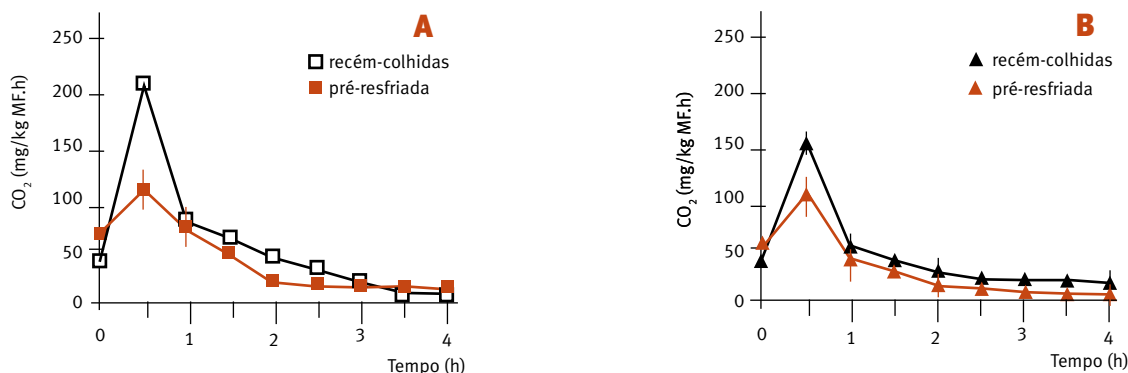
Temperatura interna (°C)

C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (μl/kg MF.h)

PAL (Δ Abs/h.g MF)

Fonte: preparada pelos autores

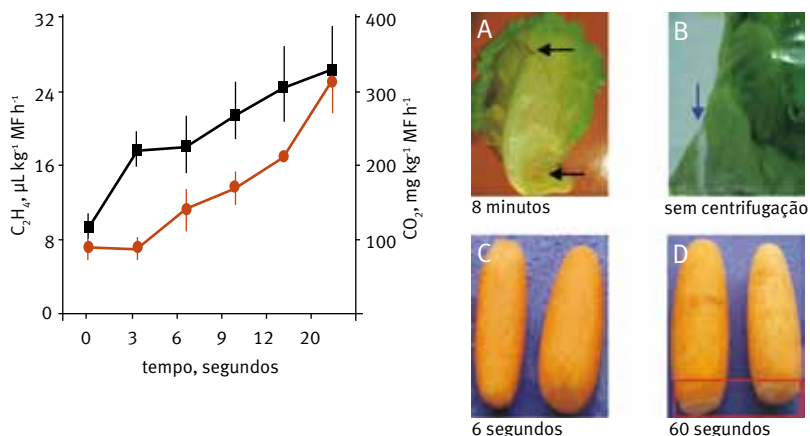
FIGURA 4 | PRODUÇÃO DE DIÓXIDO DE CARBONO POR FOLHAS DE COUVE MINIMAMENTE PROCESSADAS, RECÉM-COLHIDAS, PRÉ-RESFRIADAS E SANITIZADAS A 22±2°C (A) E 5°C (B)



Obs: A linha vertical representa o erro padrão

Fonte: preparada pelos autores

FIGURA 5 | EFEITOS DA CENTRIFUGAÇÃO EM ALFACE AMERICANA E MINICENOURA



Obs: As folhas de alface americana, processadas inteiras e centrifugadas por oito minutos (A), mostram danos causados pela centrifugação (setas pretas); e, não-centrifugadas e embaladas (B), com acúmulo de água no interior da embalagem (seta azul); minicenouras, após seis segundos de centrifugação (C, tempo ideal) e 60 segundos (D, tempo excessivo), com início de esbranquecimento (retângulo vermelho); respiração (■) e produção de etileno (●) em minicenouras centrifugadas por 0, 3, 6, 9, 12 e 20 segundos, a 647 g (E).

Obs: A linha vertical representa o erro padrão

CO<sub>2</sub> (mg/kg MF.h)  
C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> (μL/kg MF.h)  
Tempo (s)

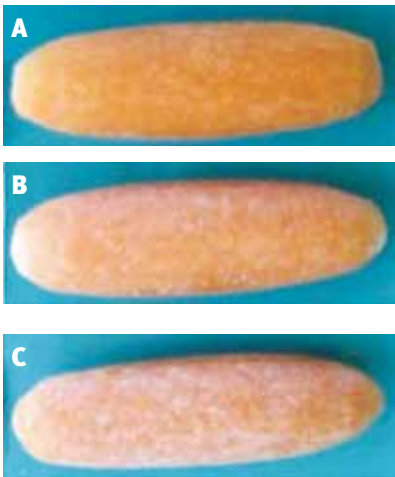
Fonte: preparada pelos autores

com cenouras frescas cortadas, a fim de se elucidar os mecanismos do embranquecimento. Sabe-se que a desidratação é o principal fator, conforme resultados de pesquisa do grupo da Universidade Federal de Viçosa (UFV) com minicenouras. Com a exposição a 5°C e UR de 90 ± 2% por uma hora e sem embalagem, já é possível visualizar o embranquecimento, com recuperação da cor natural após a reidratação (Figuras 6 A e B). Porém, quando minicenouras são mantidas por 15 horas nas mesmas condições, ocorre a perda irreversível de sua cor natural (Figura 6 C).

### ESTRESSE DE MÉDIO E LONGO PRAZO

Transformações físicas e fisiológicas ocorrem nos PMPs, quando submetidos a diferentes condições de temperatura, umidade relativa do ar e tipos diferentes de embalagem. Esses são os “fatores do meio” mais importantes na determinação da vida útil dos tecidos vegetais vivos, quando minimamente processados. Em couves processadas inteiras e mantidas

FIGURA 6 | MINICENOURA LOGO APÓS PROCESSAMENTO (A), APÓS UMA HORA (B) E APÓS 15 HORAS DE PROCESSAMENTO (C), MANTIDAS SEM EMBALAGEM A 5°C E UR 90±2%

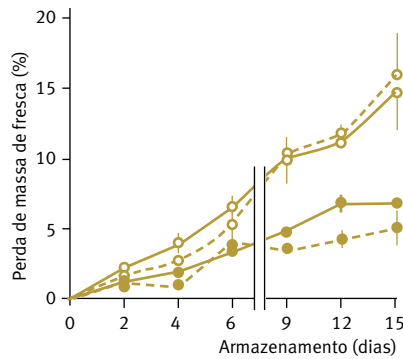


Fonte: preparada pelos autores

entre 5°C e 10°C, com umidade relativa de 90 ± 5%, verifica-se perda de massa fresca semelhante ao longo do armazenamento, enquanto que as couves minimamente processadas mantidas a 5°C conservam-se melhor, apresentando menor perda de massa fresca, em relação às mantidas a 10°C (Figura 7).

Murchamento e enrugamento são os sintomas iniciais mais visíveis resul-

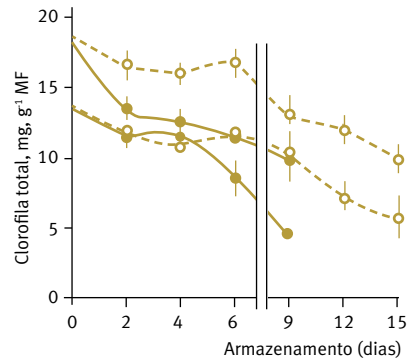
FIGURA 7 | PERDA DE MASSA FRESCA EM FOLHAS DE COUVE INTEIRA (●) E MINIMAMENTE PROCESSADAS (○), MANTIDAS A 5°C (---) E 10°C (—), SOB UR 90±5%



Obs: A linha vertical representa o desvio padrão  
 Fonte: preparada pelos autores

tantes da excessiva perda de água dos hortícolas. Outras características, como a respiração e a produção de etileno, são bastante afetadas pela temperatura e pela umidade relativa do ar, quando ocorrem em taxas elevadas, havendo redução expressiva na conservação dos PMPs. Propõe-se o abaixamento da temperatura, para cerca de 5°C, como estratégia essencial a ser empregada

FIGURA 8 | TEOR DE CLOROFILA TOTAL DE FOLHAS DE COUVE PROCESSADAS INTEIRA (●) E MINIMAMENTE (○), MANTIDAS A 5°C (---) E 10°C (—), SOB UR 90±5%

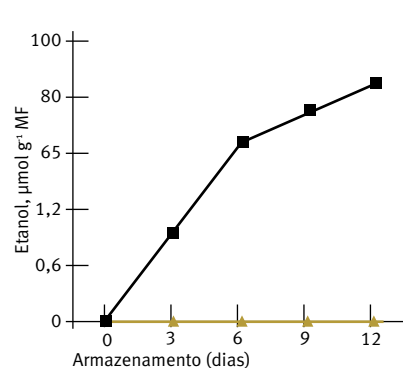
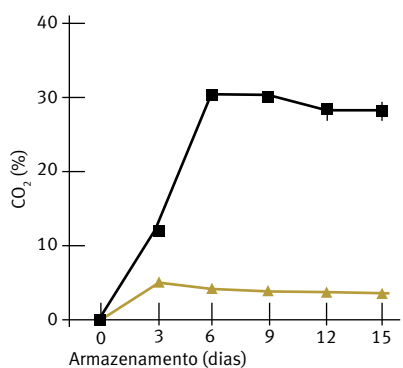
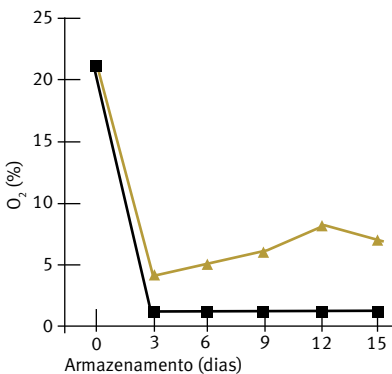


Obs: A linha vertical representa o desvio padrão  
 Fonte: preparada pelos autores

antes, durante e ao longo de todo o processamento mínimo, para reduzir o efeito do estresse.

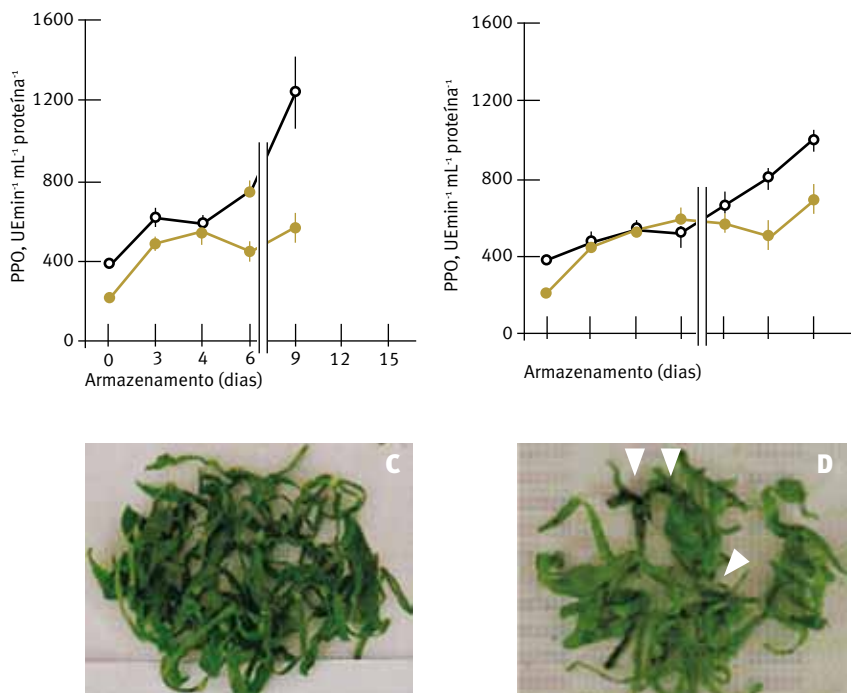
A perda de água subsequente – resultante do processo de transpiração e acentuada pelo uso inadequado da temperatura, da umidade relativa do ar e do tipo de embalagem – determina, em grande parte, as perdas qualitativas e quantitativas dos produtos hortícolas.

FIGURA 9 | PRODUÇÃO DE OXIGÊNIO (A), DE DIÓXIDO DE CARBONO (B) E DE ETANOL (C) EM CENOURA RALADA CV. NANTES, ACONDICIONADA EM EMBALAGENS DE CLORETO DE POLIVINILA (PVC, ▲) E POLIPROPILENO (PP, ■), A 5°C



Obs: A linha vertical representa o erro padrão  
 Etanol (μmol/g MF)  
 Fonte: preparada pelos autores

**FIGURA 10 | ATIVIDADE ENZIMÁTICA EM FOLHAS DE COUVE INTEIRAS (●) E MINIMAMENTE PROCESSADAS (○), ARMAZENADAS A 5°C (A) E 10°C (B); PORÇÕES DE FOLHAS DE COUVE MINIMAMENTE PROCESSADAS (C) E (D), APÓS 6 DIAS DE ARMAZENAMENTO A 5°C E 10°C, RESPECTIVAMENTE, COM INÍCIO DE ESCURECIMENTO (SETAS)**




PPO (EU/min.ml proteína)

Fonte: preparada pelos autores

Elas se devem principalmente à aceleração da deterioração do produto pelo aumento das taxas de algumas reações de origem predominantemente destrutiva (tais como a degradação de clorofila, associada também às diferenças de temperaturas). Por exemplo, couves minimamente processadas e mantidas a 5°C se mantêm com boa vida útil até 15 dias de armazenamento, em comparação às mantidas a 10°C, cuja vida útil é de até nove dias (Figura 8).

O uso de embalagens apropriadas é imprescindível para se garantir a qualidade dos PMPs. Para a cenoura ralada, as embalagens com baixa permeabilidade à difusão de oxigênio (O<sub>2</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) – como, por exemplo, o polipropileno (PP) –, não são ideais, pois

aumentam a concentração de dióxido de carbono e diminuem a concentração de oxigênio no seu interior, tornando-as susceptíveis à fermentação e produção de compostos voláteis, como o etanol, que prejudicam sensivelmente sua qualidade sensorial (Figura 9). Por outro lado, embalagens muito permeáveis – como o cloreto de polivinila (PVC), que apresentam pouca capacidade de modificação da atmosfera interna –, também não são ideais para a cenoura ralada (Figura 9).

A temperatura, além de exercer efeito intenso sobre a fisiologia dos produtos hortícolas (como aumento da respiração, da produção de etileno e degradação de clorofilas) induz alteração na atividade das enzimas que atuam no escurecimento de tecidos vegetais vivos, como a polifenoloxidase (PPO). Na couve, a atividade dessa enzima aumenta rapidamente, quando mantida a 10°C, em relação a 5°C. Isso resulta em escurecimento dos tecidos das folhas minimamente processadas (Figura 10). A compreensão dos processos fisiológicos envolvidos e dos mecanismos de adaptação dos tecidos vegetais vivos aos mais diversos e variados tipos de estresses auxiliam no emprego racional de manuseio e tecnologias (como refrigeração, embalagens e revestimento comestível), minimizando as alterações causadas por estresses de caráter fisiológico, indutores da senescência. 

\***Adriano N. Simões** ([adrianosimoes@ufv.br](mailto:adrianosimoes@ufv.br)) e **Francieleudo B. Costa** ([francieleudo@yahoo.com.br](mailto:francieleudo@yahoo.com.br)) são doutorandos da Universidade Federal de Viçosa (UFV). **Marcelo Augusto G. Carnelossi** é professor da Universidade Federal de Sergipe (UFS) ([carnelossi@ufs.br](mailto:carnelossi@ufs.br)). **Ebenézer O. Silva** é pesquisador da Embrapa CNPAT ([ebenez@cpat.embrapa.br](mailto:ebenez@cpat.embrapa.br)) e **Rolf Puschmann** ([rolf@ufv.br](mailto:rolf@ufv.br)) é professor do Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CARNELOSSI, M. A. G. et al. Respostas fisiológicas de folhas de couve minimamente processadas. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 23, n. 2, p. 215-220, abr./jun. 2005.
- SILVA, E. O. *Fisiologia pós-colheita de repolho (Brassica oleracea var. capitata) minimamente processado*. 2000. 90 f. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.
- SILVA, V. A. *Fisiologia de cenoura minimamente processada*. 2003. 78 p. Tese (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Viçosa, MG, 2003.
- SIMÕES, A. N. *Alterações químicas e atividade de enzimas em folhas de couve inteira e minimamente processadas*. 2004. 74 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.
- SIMÕES, A. N. et al. Indução da fenilalanina amonialiase em mini cenouras mantidas sob refrigeração. In: Encontro Nacional sobre Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças, 4.; Simpósio Ibero-Americano de Vegetais Frescos Cortados, 1., 2006, São Pedro, SP. Piracicaba-SP: Divisão de Biblioteca e Documentação - ESALQ/USP, 2006.