

Universidade de São Paulo  
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Estudos da fisiologia pós-colheita do cambuci sob atmosfera controlada

**Thais Pádua de Freitas**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em  
Ciências. Área de concentração: Fitotecnia

Piracicaba  
2022

Thais Pádua de Freitas  
Engenheira agrônoma

Estudos da fisiologia pós-colheita do cambuci sob atmosfera controlada

Orientador:  
Prof. Dr. **ANGELO PEDRO JACOMINO**

Tese apresentada para obtenção do título de  
Doutora em Ciências. Área de concentração:  
Fitotecnia

Piracicaba  
2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**DIVISÃO DE BIBLIOTECA – DIBD/ESALQ/USP**

Freitas, Thais Pádua de

Estudos da fisiologia pós-colheita do cambuci sob atmosfera controlada. - Piracicaba, 2022.

105 p.

Tese (Doutorado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

1. *Campomanesia phaea* 2. Fuxcentro 3. Fisiologia 4. Aroma I. Título

## AGRADECIMENTOS

Desejo agradecer a todos aqueles que contribuíram para que esta tese se realizasse. Agradeço a possibilidade de fazer parte da comunidade científica em um momento tão tenebroso para se fazer ciência no Brasil.

Ao meu orientado Prof.º Dr.º Angelo Pedro Jacomino pela oportunidade de realizar o doutorado pela orientação, confiança, liberdade e compreensão.

Ao Prof.º Dr.º Eduardo Purgatto pela disposição em ajudar e ensinar, por me receber na USP de São Paulo e abrir as portas do Centro de Pesquisas em Alimentos (Food Research Center - FoRC).

A Prof.ª Dr.ª Poliana Cristina Spricigo pela amizade, generosidade e inúmeros ensinamentos acadêmicos e para vida, sem a sua ajuda este trabalho teria sido muito mais difícil. A Isabela Barroso Taver pela amizade, companheirismo, ajuda em todos os experimentos e pelas cervejas e risadas.

Ao Sr. Paulo Nakanishi e sua família pela recepção sempre atenciosa em todos as coletas de cambuci e ao técnico Carlinhos pelo auxílio nas incontáveis viagens a campo.

Ao técnico do laboratório Marcos Trevisan e a todos os estagiários que passaram pelo laboratório Pós-colheita de Produtos Hortícolas da ESALQ-USP pelo apoio nesses anos de pesquisa.

A todos os meus amigos, especialmente a Patrícia Leite e a Renan Naves, com os quais sempre pude dividir os inúmeros momentos desse período e que sempre me ajudaram durante todo o caminho.

Ao Renan Possari, por todo o auxílio e encorajamento que tornou o processo de finalização desse trabalho mais prazeroso.

Agradeço a minha mãe Izabel Ferreira Pádua, ao meu falecido pai José Antônio de Freitas e ao meu irmão Thiago Pádua de Freitas aos quais devo tudo o que sou, pelo exemplo de força e dedicação e, principalmente, pelo apoio incondicional.

A Universidade de São Paulo pela oportunidade de estudo e aos professores do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia.

A CAPES pela bolsa de estudos de doutorado e a FAPESP pelo financiamento do projeto temático (2014/12606-3) do qual este trabalho faz parte.

## RESUMO

**Estudos da fisiologia pós-colheita do cambuci sob atmosfera controlada**

O cambuci é apreciado pelo sabor e aroma incomparável, tem sido bastante investigado quanto a sua composição bioquímica, devido ao potencial anti-inflamatório. No entanto, deteriora-se rapidamente após a colheita e muito pouco é conhecido sobre a sua fisiologia. Atmosfera controlada e a refrigeração podem ser utilizadas como uma ferramenta para investigar a fisiologia pós-colheita do cambuci. Objetivo deste trabalho foi estudar a fisiologia pós-colheita do cambuci sob atmosfera controlada. Para o desenvolvimento do estudo de forma simples, prática e sem prejuízos a precisão um equipamento que produz a mistura de gases denominado, fluxcentro foi construído. Cambucis foram armazenados em 21, 10, 5, 1 kPa O<sub>2</sub> e 0,03 kPa de CO<sub>2</sub> por 27h e a 0,03, 1, 4, 7, 10 kPa de CO<sub>2</sub> e 21 kPa de O<sub>2</sub> por 48h sob fluxo de 500 mL min<sup>-1</sup> a 20 °C. Em ambos os experimentos a taxa respiratória foi reduzida em até 90% sem modificações expressivas nos sólidos solúveis, acidez, firmeza, açúcares, ácidos orgânicos e vitamina C, mas com danos severos a aparência dos frutos (distúrbios fisiológicos), acúmulo de acetaldeído e etanol e degradação de taninos. O aroma do cambuci em baixo O<sub>2</sub> (1 kPa) foi completamente modificado, devido a intensa perda de compostos voláteis. Em atmosferas enriquecidas com CO<sub>2</sub> a produção de ésteres foi prejudicada. Posteriormente, os cambucis foram armazenados em diferentes composições de oxigênio (21, 15, 10, 5, 1 kPa O<sub>2</sub> e 0,03 de CO<sub>2</sub> e 0,03, 1, 4, 7, 10 kPa de CO<sub>2</sub>) e dióxido de carbono (21 kPa de O<sub>2</sub>, 0,03, 1, 4, 7, 10 kPa de CO<sub>2</sub> e 21 kPa de O<sub>2</sub>) em 5 °C por 15 dias. A redução da temperatura possibilitou um ganho médio 13,5 dias de vida útil com poucas modificações no teor de sólidos solúveis, acidez, firmeza, açúcares e ácidos orgânicos. Distúrbios na casca foram observados com maior intensidade após 2 dias a 20 °C sob atmosfera normal (21 kPa de O<sub>2</sub> e 0,03 kPa de CO<sub>2</sub>) em ambos os experimentos e em todos os tratamentos. Baixo O<sub>2</sub> (1 kPa) e elevado CO<sub>2</sub> (>7 kPa), provocou uma menor degradação da cor e preservou a vitamina C, mas incrementou a produção de acetaldeído e etanol e, conseqüente diminuição de taninos. Em baixo O<sub>2</sub> o aroma tornou-se mais amadeirado e herbal e em atmosferas enriquecidas com CO<sub>2</sub> mais doce e frutado.

Palavras-chave: *Campomanesia phaea*, Fluxcentro, Fisiologia, Aroma

## ABSTRACT

**Cambuci postharvest physiology studies in a controlled atmosphere**

Cambuci is enjoyed for its incomparable flavor and aroma, it has been extensively investigated for its chemical and biochemical composition, due to its anti-inflammatory potential. However, it deteriorates quickly after harvest and too little is known regarding its physiology. Controlled atmosphere and refrigeration can be used as a tool to research the postharvest physiology of cambuci. The main objective of this work was to study the postharvest physiology of cambuci under controlled atmosphere. For the development of the study in a simple, practical and accurate way an equipment that produces a mixture of gases named fluxcenter was built. Cambucis were kept at 21, 10, 5, 1 kPa O<sub>2</sub> and 0.03 kPa CO<sub>2</sub> for 27h and at 0,03, 1, 4, 7, 10 kPa CO<sub>2</sub> and 21 kPa O<sub>2</sub> for 48h under flow of 500 mL min<sup>-1</sup> at 20 °C. In both experiments the respiration rate was reduced up to 90% without expressive modifications in soluble solids, acidity, firmness, sugars, organic acids and vitamin C, but with severe damage to fruit appearance (physiological disturbances), accumulation of acetAldeído and ethanol and tannin degradation. The aroma of cambuci in low O<sub>2</sub> (1 kPa) was completely modified, due to intense pedo of volatile compounds. In CO<sub>2</sub> enriched atmospheres éster production was impaired. Subsequently, cambucis were stored in different oxygen (21, 15, 10, 5, 1 kPa O<sub>2</sub> and 0.03 CO<sub>2</sub> and 0,03, 1, 4, 7, 10 kPa CO<sub>2</sub>) and carbon dioxide (21 kPa O<sub>2</sub>, 0,03, 1, 4, 7, 10 kPa CO<sub>2</sub> and 21 kPa O<sub>2</sub>) compositions at 5 °C for 15 days. The temperature reduction allowed an average gain of 13.5 days of shelf life with little change in soluble solids content, acidity, firmness, sugars, and organic acids. Peel disturbances were observed with greater intensity after 2 days at 20 °C under normal atmosphere (21 kPa O<sub>2</sub> and 0.03 kPa CO<sub>2</sub>) in both experiments and in all treatments. Low O<sub>2</sub> (1 kPa) and high CO<sub>2</sub> (>7 kPa), caused less color degradation and preserved vitamin C, but increased acetAldeído and ethanol production and, consequently, decreased tannins. In low O<sub>2</sub> the aroma became more amadeirado and herbal and in CO<sub>2</sub> enriched atmospheres more doce and frutado.

Keywords: *Campomanesia phaea*, Fluxcenter, Physiology, Aroma

## 1. INTRODUÇÃO

Cambuci é um fruto nativo da Mata Atlântica brasileira, na região da Serra do Mar Paulista. Cambucis maduros e recém-colhidos possuem formato romboide, casca verde brilhante e um sabor agradável incomparável resultante da combinação de ácidos, açúcares e taninos às notas de aroma amadeirada, fresca, doce e cítrica. Além do sabor apazível, reúne características nutricionais que beneficiam a saúde humana com potencial de despertar o interesse da indústria farmacêutica e alimentícia.

Informações sobre a fisiologia do cambuci são escassas. O fruto deteriora-se rapidamente após a colheita, a casca torna-se opaca e o aroma pungente e alcoólico. Esta perda de qualidade dificulta o desenvolvimento da cadeia produtiva para comercialização do fruto fresco.

A manutenção da qualidade e a redução das perdas em pós-colheita pode ser obtida pela diminuição da taxa respiratória. Controlar a temperatura e os gases do ambiente de armazenamento é uma das formas mais eficazes de reduzir a respiração. Em pós-colheita, estas duas técnicas são frequentemente associadas para reduzir danos em diferentes produtos hortícolas.

Contudo, resultados positivos dependem de informações sobre a fisiologia dos frutos para evitar por exemplo, distúrbios fisiológicos e o acúmulo de acetaldeído/etanol, que podem descaracterizar a aparência e gerar aromas desagradáveis.

Neste trabalho propomos o uso atmosfera controlada como uma ferramenta para caracterizar a atividade respiratória do cambuci em temperatura ambiente, e posteriormente, para identificar como o O<sub>2</sub> e o CO<sub>2</sub> influenciam nos atributos de qualidade do cambuci em diferentes temperaturas e tempos de exposição. Para isso, foi fundamental a adaptação de um sistema de controle e mistura de gases que viabilizasse o estabelecimento de atmosferas experimentais. O *flowboard* ou fluxcentro foi montado com base no equipamento descrito por CALBO (1989) e CARMELO (2015).

Este trabalho é o primeiro estudo sobre a fisiologia pós-colheita do cambuci em diferentes atmosferas de armazenamento.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Cambuci (*Campomanesia phaea*)

O Brasil é considerado um dos principais centros de recursos genéticos vegetais do mundo, destacando-se o bioma da Mata Atlântica, que apesar de extremamente fragmentado, é considerado um dos 25 *hotspots* para conservação da biodiversidade mundial (MYERS et al., 2000). Grande parte dessa biodiversidade é composta por espécies frutíferas nativas - a maioria desconhecida e subutilizada quando comparadas as frutíferas tradicionalmente cultivadas e consumidas, tais como a maçã, a laranja e a banana (DONADIO, 2012; LANDRUM; KAWASAKI, 1997).

O cambucizeiro (*Campomanesia phaea*) é uma espécie frutífera pertencente à família das mirtáceas e nativa do bioma da Mata Atlântica brasileira. As árvores de porte médio e copa densa ajudam a compor o paisagismo da Serra do Mar paulista, região na qual o cambucizeiro ocorre naturalmente.

A espécie já esteve ameaçada de extinção por ser endêmica do bioma mais degradado do Brasil, o que contrasta com relatos mais antigos de encontrar exemplares da espécie frondosos e floridos no verão distribuídos pelas calçadas e quintais da cidade de São Paulo. É tradicionalmente apreciado pela população local, como matéria-prima no preparo de sucos, pratos salgados, geleias e doces, devido à sua polpa carnosa e succulenta (LORENZI, 1992; VALLILO et al., 2005a).

O fruto que empresta seu nome a um bairro tradicional da cidade de São Paulo e faz parte da cultura e história do estado quase desapareceu, mas a iniciativa de alguns setores - público e privado - estimulou o interesse de pequenos produtores que enxergaram no cambuci uma oportunidade em obter uma nova fonte de renda (CAIRES; RACHED; BOFF, 2017; JORNAL PIRES RURAL, 2019). Nos últimos anos, o cambuci e seus subprodutos se tornaram parte da renda para alguns produtores nos municípios Paranapiacaba-SP, Salesópolis-SP, Paraibuna-SP e Natividade da Serra-SP. O resgate do cambuci também significa a recuperação de áreas degradadas do Bioma da Mata Atlântica e a valorização da biodiversidade brasileira. Aos poucos o cambuci retoma seu espaço nas propriedades localizadas nos fragmentos da Mata Atlântica, em feiras e mercados municipais e, até mesmo em festivais gastronômicos dedicados a ele e seus subprodutos, como a ‘rota do cambuci’ coordenado pelo Instituto AUÁ (ANDRADE; FONSECA; LEMOS, 2011).

Botanicamente o fruto do cambucizeiro é classificado como uma baga lisa romboide, de formato pouco comum para frutos, muitas vezes comparado a um “disco voador”. A casca fina dos frutos é verde e não muda de cor durante o amadurecimento. Os cambucis tem polpa translúcida e carnosa - com muita água, de teor de umidade



médio de 90 % - o que confere uma textura macia quando maduros. As sementes são achatadas, de formato orbicular e coloração branco-pálida e, em média são encontradas 10 por fruto.(DONADIO; MORO; SERVIDONE, 2002; LORENZI, 1992; VALLILO et al., 2005a).

A principal característica do fruto *in natura* é marcadamente o *flavor* inconfundível e incomparável. O sabor é uma combinação entre a acidez, doçura e adstringência. O aroma é adocicado e cítrico com notas florais, doces e levemente amadeiradas. Estas características sobressaem quando o cambuci é utilizado como ingrediente principal em uma vasta quantidade de receitas gastronômicas, como são geleias, bolos, sucos, sorvetes, mousses, iogurtes, cachaças, xarope, chás, molhos etc. O rendimento de polpa elevado - superior a 80 % - indica um ótimo aproveitamento na indústria alimentícia (VALLILO et al., 2005a). Além dos pratos doces e salgados, o cambuci também é utilizado como matéria prima em produtos cosméticos como sabonetes, cremes hidratantes e xampus.

Adicionalmente, o cambuci tem grande potencial de uso pela indústria farmacêutica devido as suas propriedades nutricionais(TOKAIRIN et al., 2018). Estudos caracterizando a polpa do fruto identificaram quantidades elevadas de compostos fenólicos, cuja ação antioxidante está associada à diminuição dos riscos de doenças crônicas. Os principais compostos identificados foram taninos e flavonoides, cuja ação antioxidante está associada à diminuição dos riscos de doenças crônicas como a obesidade, hipertensão, diabetes, câncer, mal de Alzheimer e de Parkinson( KRIS-ETHERTON et al., 2002; ESPOSITO, 2003; SCALBERT et al., 2005; SEIFRIED et al., 2007; RUFINO et al., 2010; AZEVEDO et al., 2017; DI MATTEO; LEO et al., 2017)

Contudo o cambuci é um fruto muito perecível - característica que dificulta a comercialização e o consumo *in natura* (SALTVEIT, 2016). O cambuci é um fruto sazonal, produzido entre os meses de fevereiro e maio em pequenos cultivos comerciais. A vida útil após a colheita não ultrapassa 4 dias devido a elevada taxa respiratória ( $30 \text{ mL kg h}^{-1}$ ) e a moderada produção de etileno ( $2,0 \text{ } \mu\text{L kg h}^{-1}$ ) quando armazenado a  $22 \text{ } ^\circ\text{C}$  (TOKAIRIN, 2017).

A perda de qualidade do cambuci é caracterizada pela alteração do aroma que se torna alcoólico e fermentado associada ao amolecimento da polpa (textura) e ao sabor ácido-ardido e menos adstringente enquanto a casca torna-se opaca e se desfaz com facilidade durante a manipulação do fruto. Essas características dificultam a comercialização de cambuci fresco. O uso de técnicas adequadas que diminuam a taxa respiratória pode prolongar a vida útil e manter a qualidade pós-colheita dos frutos viabilizando a comercialização do cambuci *in natura*.

## 2.2. Técnicas pós-colheita para estender a vida útil do cambuci

### 2.2.1. Armazenamento refrigerado

O armazenamento refrigerado possibilita estender vida útil de diversos produtos hortícolas possibilitando a um maior período de comercialização. A remoção do calor dos produtos vegetais desacelera as atividades metabólicas como a respiração e a produção de etileno e pode ser capaz de frear o processo de senescência (KADER, 2003).

O ajuste adequado da faixa de temperatura é fundamental para o sucesso da técnica evitando assim os danos por frio. O dano por frio ou *chilling* ocorre quando os frutos são armazenados a uma temperatura abaixo da ideal devido a peroxidação lipídica dos ácidos graxos insaturados responsáveis pela estrutura e função das membranas celulares (KANIUGA, 2008; PARK; SANGWANANGKUL; CHOI, 2018; WISE; NAYLOR; GOODWIN AVE, 1987). As membranas perdem fluidez e tem a permeabilidade prejudicada, facilitando rompimentos e a morte celular. No tecido vegetal isto é percebido pela manifestação de desordens fisiológicas variadas, sendo frequente o escurecimento da polpa, a descoloração e/ou manchas na casca, perda de sabor e alterações no aroma.

O cambuci é um fruto de clima tropical e não toleram baixas temperaturas em seu armazenamento, para isso, recomenda-se o uso de uma faixa de temperatura acima de 10/12 °C para evitar o *chilling* (BAMBALELE et al., 2021; CHITARRA; CHITARRA, 2005).

A temperatura ideal para armazenar o cambuci sem causar danos por frio não foi estabelecida até o presente momento, mas o uso da refrigeração associado a modificação e controle da atmosfera de armazenamento são comumente combinados para reduzir as perdas de qualidade pós-colheita de diferentes produtos hortícolas. Adicionalmente, a alteração da composição atmosférica quando utilizadas dentro dos limites tolerados pelos frutos pode atenuar as injúrias causadas pelo frio (PESIS et al., 2000; PARK; SANGWANANGKUL; CHOI, 2018).

### 2.2.2. Modificação e controle da atmosfera

No armazenamento em atmosfera modificada (AM), o produto vegetal é colocado em uma embalagem e a atividade respiratória - consumo de  $O_2$  e produção de  $CO_2$  - do produto modifica os gases do ambiente de modo passivo. Aos poucos, esta condição de armazenamento abranda a taxa respiratória, a produção de etileno e a perda de água, reduzindo a atividade enzimática e a taxa metabólica dos produtos hortícolas embalados (KADER; WATKINS, 2000; SELCUK; ERKAN, 2015; WANG et al., 2011).

Neste sistema é fundamental conhecer os limites de concentrações de  $O_2$  e  $CO_2$  dos produtos vegetais para evitar efeitos indesejados - como a fermentação devido aos danos por baixo teor de oxigênio. Estudos de atmosfera modificada muitas vezes são conduzidos com diversos experimentos para testar diferentes tipos de embalagens, o que pode ser demorado e não proporcionar a melhor condição de armazenamento.

A atmosfera controlada (AC) é uma técnica que se tornou mais conhecida a partir de 1927 (Kidd; West, 1927) e consiste no controle e monitoramento ativo contínuo das condições de armazenamento, e a sua eficiência depende do controle das variáveis composição gasosa, umidade relativa e temperatura ao longo do armazenamento. Experimentos de armazenamento com controle das composições gasosas são formas mais assertivas para identificar a sensibilidade dos frutos às concentrações de  $O_2$  e  $CO_2$ . Adicionalmente, viabiliza os estudos de fisiologia permitindo maior controle e manipulação das condições de armazenamento.

A composição gasosa da atmosfera é de 78 %  $N_2$ , 21 %  $O_2$  e 0,03 %  $CO_2$ , o que pode diminuir o tempo de conservação de produtos perecíveis (CALBO; MORETTI; HENZ, 2007). Na AC a diminuição dos níveis de  $O_2$  e elevação do  $CO_2$  - reduzem a taxa respiratória e as atividades enzimáticas prolongando a vida útil e mantendo a qualidade de produtos hortícolas.

A associação da AC à refrigeração pode auxiliar na determinação de melhores condições de armazenamento e proporcionar o conhecimento da fisiologia do cambuci. Os resultados podem ser utilizados futuramente na determinação da permeabilidade ideal para embalagens que prolonguem a vida útil e preservem o aroma, aparência e os compostos bioativos (CEFOLA et al., 2018; CHANG; LEE; KIM, 2017; LIAMNIMITR et al., 2018).

### 2.2.3. Uso da atmosfera controlada em estudos pós-colheita

A atmosfera controlada, adicionalmente às suas propriedades de conservação, pode ser utilizada experimentalmente como uma ferramenta para estudos em fisiologia pós-colheita (ESCOBEDO-AVELLANEDA; WELTI-CHANES, 2016; THOMPSON, 2010). As características fisiológicas do cambuci podem ser avaliadas pela taxa de consumo de  $O_2$  ao longo do armazenamento sob condições ambientais controladas (BODBODAK; MOSHFEGHIFAR, 2016).

A taxa respiratória determina o consumo de  $O_2$  pelo fruto pode ser coordenada pelas modificações nas condições atmosféricas. Experimentalmente, pode ser estimada em concentrações pré-definidas de  $O_2$  e, calculada no modelo de respiração *Michaelis-Menten* para qualquer concentração de  $O_2$ . Os valores obtidos experimentalmente e os preditos no modelo se correlacionam e explicam o padrão respiratório de um fruto (FONSECA; OLIVEIRA; BRECHT, 2002c; MANGARAJ et al., 2014; MANGARAJ; K.GOSWAMI; MAHAJAN, 2015). Este parâmetro permite determinar o limite de  $O_2$  tolerado necessário para otimizar a condição de armazenamento do cambuci e estudar a fisiologia do fruto ao longo deste período.

A atmosfera controlada é bastante utilizada e reconhecida por seus efeitos benéficos na conservação da qualidade de frutos. Comercialmente, o sistema é comum para preservar maçãs e permitir que estejam disponíveis para o consumidor (GRAN; BEAUDRY, 1993; SELCUK; ERKAN, 2015). Nesta condição o estabelecimento de atmosferas controladas é uma tecnologia de alto custo e precisão regida por softwares programados para as características intrínsecas de cada espécie.

Em laboratório, o estabelecimento da AC pode ser realizado por meio de um sistema de controle de gases - denominado *flowboard* ou fluxcentro. Este equipamento obedece aos mesmos princípios do sistema comercial que visa modificar e controlar gases atmosféricos, mas em menor escala e menor custo, viabilizando estudos em fisiologia pós-colheita para frutos como o cambuci.

#### **2.2.4. Montagem de um sistema de atmosfera controlada para estudos pós-colheita de produtos hortícolas**

O flowboard é um sistema de distribuição de gases que permite o controle, a composição e a manutenção de um fluxo estável de gases para a AC. O primeiro relato na literatura foi em 1821, (COUVERCHEL; COUVERCHEL, 1821) onde foi descrito o primeiro protótipo de um fluxcentro, que buscava compreender de que forma a alteração do meio atmosférico influenciaria na maturação dos frutos.

O princípio de funcionamento do sistema é simples: os gases saem de um cilindro e são conduzidos pela tubulação até as válvulas diferenciais para o controle da pressão (CALBO, 1989). O fluxo e a concentração gasosa são mantidos por capilares padronizados que são acoplados na saída de um distribuidor (CARMELO et al., 2015). A mistura gasosa formada é injetada nas minicâmaras de armazenamento modificando a sua composição gasosa.

O ajuste do sistema depende da dinâmica de interação entre os gases, da temperatura, da taxa de respiração do produto, do volume de frutos e do volume das minicâmaras onde são armazenados (CALBO; MORETTI; HENZ, 2007; KADER, 1986).

Apesar dos inúmeros benefícios o armazenamento em ambiente controlado pode causar a respiração anaeróbica dos produtos hortícolas devido a concentração de O<sub>2</sub> abaixo dos níveis mínimos tolerados ou em níveis elevados de CO<sub>2</sub> resultando em inúmeros efeitos indesejados a qualidade pós-colheita como produção de acetaldeído e etanol, danos severos a aparência, distúrbios fisiológicos e aparecimento de *off-flavor* (GUNES; LIU; WATKINS, 2002; LIAMNIMITR et al., 2018; PAUL; PANDEY, 2014a; PESIS, 2005b).

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, B. A. G. DE F.; FONSECA, P. Y. G. DA; LEMOS, F. **Cambuci: O Fruto, o Bairro, a Rota**. 1. ed. São Paulo: Ourivesaria da Palavra, 2011.
- AZEVEDO, M. C. S. et al. Physicochemical variability of cambuci fruit (*Campomanesia phaea*) from the same orchard, from different locations and at different ripening stages. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 2, p. 526–535, 1 jan. 2017.
- BODBODAK, S.; MOSHFEGHIFAR, M. Advances in controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. In: **Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality**. [s.l.] Elsevier, 2016. p. 39–76.
- CAIRES, L.; RACHED, M.; BOFF, M. **A volta do cambuci** -. Disponível em: <<https://www.comciencia.br/a-volta-do-cambuci/>>. Acesso em: 30 jan. 2022.
- CALBO, A. G. Adaptação de um fluxcentro para estudos de trocas gasosas e um método de aferição de capilares. **Pesq. agropcc. bras.**, v. 24, n. 6, p. 733–739, 1989.
- CALBO, A. G.; MORETTI, C. L.; HENZ, G. P. Respiração de Frutas e Hortaliças. **Comunicado Técnico**, v. 46, p. 1–10, 2007.
- CARMELO, L. G. P. et al. Portable flow board for storage of fruits and vegetables in mini-chambers with controlled atmosphere. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 6, p. 1105–1116, 2015.
- CEFOLA, M. et al. Relationships among volatile metabolites, quality and sensory parameters of ‘Italia’ table grapes assessed during cold storage in low or high CO<sub>2</sub> modified atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, v. 142, p. 124–134, 1 ago. 2018.
- CHANG, E.-H.; LEE, J.-S.; KIM, J.-G. Cell wall degrading enzymes activity is altered by high carbon dioxide treatment in postharvest ‘Mihong’ peach fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 225, p. 399–407, 2017.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2ª ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005.
- COUVERCHEL, J. F.; COUVERCHEL, J. F. **Mémoire sur la maturation des fruits**. Paris: Impr. Royale, 1821.
- DI MATTEO, V.; ESPOSITO, E. Biochemical and therapeutic effects of antioxidants in the treatment of Alzheimer’s disease, Parkinson’s disease, and amyotrophic lateral sclerosis. **Current drug targets. CNS and neurological disorders**, v. 2, n. 2, p. 95–107, abr. 2003.
- DONADIO, L. C. Frutas nativas do Brasil: como despertar o interesse pela produção e comercialização. **VI Encontro sobre Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul FRUTAS**, v. d, p. 181–182, 2012.
- DONADIO, L. C. ; MORO, F. V.; SERVIDONE, A. A. . **Frutas brasileiras**. Jaboticabal: Funep, 2002.

ESCOBEDO-AVELLANEDA, Z.; WELTI-CHANES, J. Controlled Atmosphere Storage: Applications for Bulk Storage of Foodstuffs. In: **Encyclopedia of Food and Health**. [s.l.: s.n.]. p. 301–307.

FONSECA, S. C.; OLIVEIRA, F. A. . R.; BRECHT, J. K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 2, p. 99–119, abr. 2002.

GRAN, C. D.; BEAUDRY, R. M. **Determination of the low oxygen limit for several commercial apple cultivars by respiratory quotient breakpoint***Postharvest Biology and Technology*. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <[https://ac.els-cdn.com/0925521493900617/1-s2.0-0925521493900617-main.pdf?\\_tid=f733cc4e-3130-4c5e-ae48-9c9e1fe21729&acdnat=1536866732\\_d3a870b76955739b5eff0bb9f38ab7ec](https://ac.els-cdn.com/0925521493900617/1-s2.0-0925521493900617-main.pdf?_tid=f733cc4e-3130-4c5e-ae48-9c9e1fe21729&acdnat=1536866732_d3a870b76955739b5eff0bb9f38ab7ec)>. Acesso em: 13 set. 2018.

GUNES, G.; LIU, R. H.; WATKINS, C. B. Controlled-atmosphere effects on postharvest quality and antioxidant activity of cranberry fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 21, p. 5932–5938, 2002.

JORNAL PIRES RURAL. O cultivo do cambuci na experiência do produtor Paulo Nakanishi. **Jornal Pires Rural**, n. 223, p. 2, 2019.

KADER, A. A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food Technology**, v. 40, n. 5, p. 99–100 & 102–104, 1986.

KADER, A. A. A perspective on postharvest horticulture (1978-2003). **HortScience**, v. 38, n. 5, p. 1004–1008, 2003.

KADER, A. A.; WATKINS, C. B. **Modified atmosphere packaging - Toward 2000 and beyond**. HortTechnology. **Anais...2000**

KANIUGA, Z. Chilling response of plants: importance of galactolipase, free gorduroso acids and free radicals\*. **Plant Biology**, v. 10, n. 2, p. 171–184, 1 mar. 2008.

KRIS-ETHERTON, P. M. et al. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. **The American Journal of Medicine**, v. 113, n. 9, p. 71–88, 30 dez. 2002.

LANDRUM, L. R.; KAWASAKI, M. L. The genera of Myrtaceae in Brazil: an Illustrated synoptic treatment and identification keys. **Brittonia**, v. 49, n. 4, p. 508, 1997.

LEAO, M. M. et al. The potencial of *Campomanesia phaea* O. Berg Landrum (Cambuci) as natural source of vitamin C. **Athens Journal of Sciences**, v. 4, n. 1, p. 37–45, 2017.

LIAMNIMITR, N. et al. Optimization of bulk modified atmosphere packaging for long-term storage of “Fuyu” persimmon fruit. **Postharvest Biology and Technology journal**, v. 135, p. 1–7, 2018.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 1. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1992.

- MANGARAJ, S. et al. Design and development of modified atmosphere packaging system for guava (cv. Baruipur). **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 11, p. 2925–46, nov. 2014.
- MANGARAJ, S.; K.GOSWAMI, T.; MAHAJAN, P. V. Development and validation of a comprehensive model for map of fruits based on enzyme kinetics theory and arrhenius relation. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 7, p. 4286–4295, 2 jul. 2015.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 24 fev. 2000.
- PARK, M.-H.; SANGWANANGKUL, P.; CHOI, J.-W. Reduced chilling injury and delayed fruit ripening in tomatoes with modified atmosphere and humidity packaging. **Scientia Horticulturae**, v. 231, p. 66–72, 27 jan. 2018.
- PAUL, V.; PANDEY, R. Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability - A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 7, p. 1223–1250, 2014.
- PESIS, E. et al. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 19, n. 1, p. 93–101, 1 maio 2000.
- PESIS, E. The role of the anaerobic metabolites, acetAldeído and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. **Postharvest Biology and Technology**, v. 37, n. 1, p. 1–19, 1 jul. 2005.
- RUFINO, M. DO S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.
- SALTVEIT, M. E. Respiratory metabolism. **Postharvest Ripening Physiology of Crops**, n. 1, p. 139–156, 2016.
- SCALBERT, A. et al. Dietary Polyphenols and the Prevention of Diseases. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 45, n. 4, p. 287–306, jun. 2005.
- SEIFRIED, H. E. et al. A review of the interaction among dietary antioxidants and reactive oxygen species. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 18, n. 9, p. 567–579, set. 2007.
- SELCUK, N.; ERKAN, M. The effects of modified and palliflex controlled atmosphere storage on postharvest quality and composition of ‘Istanbul’ medlar fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 99, p. 9–19, 1 jan. 2015.
- THOMPSON, A. K. **Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables**. 2. ed. Wallingford: CABI, 2010.
- TOKAIRIN, T. DE O. **Caracterização e conservação pós-colheita de cambuci, fruto nativo da Mata Atlântica**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2017.
- VALLILO, M. I. et al. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS E QUÍMICAS DOS FRUTOS DO CAMBUCIZEIRO (*Campomanesia phaea*). **Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal**, v. 27, n. 011, p. 241–244, 2005.



WANG, C. T. et al. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) with low and superatmospheric oxygen on the quality and antioxidant enzyme system of golden needle mushrooms (*Flammulina velutipes*) during postharvest storage.

**European Food Research and Technology**, v. 232, n. 5, p. 851–860, 2 maio 2011.

WISE, R. R.; NAYLOR, A. W.; GOODWIN AVE, S. Chilling-Enhanced Photooxidation The Peroxidative Destruction of Lipids during Chilling Injury to Photosynthesis and Ultrastructure. **Plant Physiology**, v. 83, n. 2, p.

272–277,

1

fev.

1987.

## FLUXCENTRO: MONTAGEM E FUNCIONAMENTO

### Resumo

O *flowboard* ou fluxcentro é um sistema de distribuição de gases que permite o controle, a composição e a manutenção de um fluxo estável de gases viabilizando estudos de pós-colheita com atmosfera controlada (AC). O fluxcentro desenvolvido neste estudo foi baseado no fluxcentro portátil descrito por Calbo (2015) com o objetivo de construir um equipamento mais prático para a realização de estudos pós-colheita. O *flowboard* foi construído no laboratório de Pós-colheita de Produtos Hortícolas da ESALQ-USP com 5 linhas para distribuição de gases, divididas em 21 saídas independentes que podem ser conectadas à 16 válvulas micrométricas para regulação de fluxo. A substituição dos capilares de vidro por válvulas agulhas e o uso do fluxímetro proporcionou maior precisão no ajuste dos fluxos em relação ao uso dos restritores de fluxo de vidro ou de cobre. Adicionalmente, uma melhora significativa em relação ao tempo empregado para a produção de composições gasosas foi alcançada devido a facilidade de uso das válvulas agulhas em relação aos capilares de vidro. As conexões pneumáticas de engate rápido garantiram a vedação e facilitaram a montagem, manuseio e manutenção do equipamento e o uso de manômetros em diferentes pontos das tubulações melhoraram o controle da pressão no fluxcentro. Todas as alterações realizadas garantiram a manutenção da estabilidade do fluxo. Desta forma as modificações tornaram o uso do fluxcentro mais simples e prático sem prejuízos a precisão do equipamento, facilitando o desenvolvimento de estudos de atmosfera controlada em pós-colheita.

Palavras-chave: Método ; Controle de fluxo ; Fluxo de gás

## FLOWBOARD: SET-UP AND START-UP

### Abstract

The flowboard is a gas distribution system that allows the control, composition and maintenance of a stable gas flow enabling postharvest studies with controlled atmosphere (CA). The flowboard developed in this study was based on the portable flowboard described by Calbo (2015) with the objective of building a more practical equipment for conducting postharvest studies. The flowboard was built in the Horticultural Postharvest Laboratory at ESALQ-USP with 5 lines for gas distribution, divided into 21 independent outlets that can be connected to 16 micrometric valves for flow regulation. The replacement of the glass capillaries with needle valves plus the use of the flowmeter provided greater accuracy in flow adjustment compared to the use of glass or copper flow restrictors. Furthermore, a significant time improvement was achieved for the production of gas compositions due to the easier use of the needle valves compared to the glass capillaries. The quick coupling pneumatic connections provided sealing and made it easier to assemble, operate, and maintenance of the equipment, while the use of pressure manometers at different points in the piping improved the pressure control of the flowboard. All the performed changes ensured the maintenance of flow stability. Thus, the modifications made the use of the fluxcenter simpler and more practical without harming the accuracy of the equipment, facilitating the development of controlled atmosphere studies in postharvest.

Keywords: Method;Flow control; Gas flow

### 3. Introdução

O flowboard é um sistema de distribuição de gases que permite o controle, a composição e a manutenção de um fluxo estável de gases viabilizando estudos de pós-colheita com atmosfera controlada (AC).

O primeiro relato científico sobre o efeito de diferentes atmosferas no amadurecimento de frutos foi realizado por Jacques Étienne Bérard em 1821(COUVERCHEL; COUVERCHEL, 1821). Neste trabalho foi descrito o uso de um protótipo de um fluxcentro utilizando um recipiente de vidro tampado com uma rolha de cortiça conectada a um tubo com uma torneira e uma máquina pneumática para alterar a composição gasosa. Bérard constatou que os frutos consumiam oxigênio e liberavam dióxido de carbono e sugeriu que algumas frutas poderiam ser armazenadas por um período de até três meses na ausência de oxigênio.

Desde então, a alteração da composição gasosa tem sido utilizada para compreender a fisiologia dos frutos e aplicar esse conhecimento no aumento do tempo de prateleira. CALBO (1989) adaptou um fluxcentro para produzir a misturas gases, entretanto, o gasto com escape de gás através de barostato onerava a execução de experimento. Posteriormente, foi desenvolvido um fluxcentro portátil (CARMELO et al., 2015) simples e de baixo custo que substituiu o uso do barostato por uma válvula diferencial acoplada a um tubo de policloreto de vinila (PVC) com as saída para distribuir os gases chamado de manifold.

Em ambos os fluxcentros, o fluxo foi controlado com o uso de capilares de cobre ou de vidro aferidos com o auxílio de um bolhômetro. Apesar da precisão dos capilares foram observadas algumas limitações: capilares de cobre podem oxidar ou se deformar alterando a precisão do fluxo; capilares de vidro são frágeis e difíceis de fabricar pelo método da moldagem a quente sob fluxo continuado. Além disso, a fabricação manual pode aumentar a imprecisão no diâmetro dos capilares e provocar erro na estimativa do fluxo, o estabelecimento de uma composição gasosa depende de um grande acervo de capilares e adicionalmente, o uso de um bolhômetro para aferir o fluxo é trabalhoso dificultando o uso do fluxcentro.

Visando mitigar os problemas identificados anteriormente o controle da pressão foi realizado com manômetros em diferentes pontos do sistema, os capilares foram substituídos por válvulas-agulhas e para a aferir o fluxo utilizamos um fluxímetro digital. Este trabalho propôs adaptações ao fluxcentro portátil descrito por CARMELO (2015) com o objetivo de simplificar o seu uso e tornar mais prático os em estudos de atmosfera controlada em pós-colheita no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Hortícolas (ESALQ/USP).

## CONCLUSÃO

O fluxcentro desenvolvido foi otimizado com base nos equipamento e princípios descritos por CALBO (1989) e mostrou-se uma alternativa fácil e prática para produzir atmosferas controladas para estudos em pós-colheita de produtos hortícolas. A substituição dos capilares de vidro por válvulas agulhas e o uso do fluxímetro proporcionou maior precisão no ajuste dos fluxos em relação ao uso dos restritores de fluxo de vidro ou de cobre.

Adicionalmente, uma melhora significativa em relação ao tempo empregado para a produção de composições gasosas foi alcançada devido a facilidade de uso das válvulas agulhas em relação aos capilares de vidro. As conexões pneumáticas de engate rápido garantiram a vedação e facilitaram a montagem, manuseio e manutenção do equipamento e o uso de manômetros em diferentes pontos das tubulações melhoraram o controle da pressão no fluxcentro. Desta forma o fluxcentro foi uma alternativa viável para o desenvolvimento de estudos de atmosfera controlada em pós-colheita.

## REFERÊNCIAS

- CALBO, A. G. Adaptação de um fluxcentro para estudos de trocas gasosas e um método de aferição de capilares. *Pesq. agropcc. bras.*, v. 24, n. 6, p. 733–739, 1989.
- CARMELO, L. G. P. et al. Portable flow board for storage of fruits and vegetables in mini-chambers with controlled atmosphere. *Engenharia Agrícola*, v. 35, n. 6, p. 1105–1116, 2015.
- COUVERCHEL, J. F.; COUVERCHEL, J. F. *Mémoire sur la maturation des fruits*. Paris: Impr. Royale, 1821.
- SALTVEIT, M. E. Respiratory Metabolism. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables*, p. 73–91, 1 jan. 2019.

## FISIOLOGIA PÓS-COLHEITA DO CAMBUCI EM ATMOSFERA CONTROLADA

### Resumo

A atmosfera controlada (AC) pode ser utilizada como uma ferramenta de conservação e caracterização da fisiologia pós-colheita do cambuci. O objetivo deste trabalho foi estudar a fisiologia pós-colheita do cambuci sob atmosfera controlada. O projeto foi desenvolvido no Laboratório de Pós-colheita de Produtos Hortícolas do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ/USP, em Piracicaba, São Paulo. Inicialmente, estimou-se a taxa respiratória com o auxílio do modelo de respiração do tipo *Michaelis-Menten* para prever o consumo de O<sub>2</sub> e em temperatura ambiente 20 °C por um curto período. Em seguida, caracterizamos a taxa respiratória em diferentes concentrações de CO<sub>2</sub>. Posteriormente, testou-se as concentrações de 21, 15, 10, 5, 1 kPa O<sub>2</sub> e 0,03 de CO<sub>2</sub> e 0,03, 1, 4, 7, 10 kPa de CO<sub>2</sub> e 21 kPa de O<sub>2</sub> ambos a 5 °C e por 15 dias e avaliou-se os efeitos nos atributos de qualidade do cambuci em análises físico-química, caracterização dos compostos bioativos e de aroma no início e no fim de cada armazenamento. Todas as análises foram realizadas em quadruplicata e os dados foram submetidos à análise de variância (teste Tukey) e análise multivariada. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado no esquema fatorial, composto por 5 tratamentos com 4 repetições no primeiro experimento e 4 tratamentos com 3 repetições no segundo experimento. A taxa respiratória do cambuci foi reduzida em até 90% com a redução de O<sub>2</sub> ou aumento de CO<sub>2</sub> a 20 °C. A redução da temperatura para 5 °C ampliou a vida pós-colheita do cambuci. Os atributos de qualidade - sólidos solúveis, acidez, firmeza, açúcares e ácidos orgânicos - não sofreram alterações expressivas em nenhuma das condições de armazenamento, no entanto, foram verificados danos severos a aparência como descoloração e machas escuras em todos os tratamentos. Baixo O<sub>2</sub> e elevado CO<sub>2</sub> provocou o acúmulo de acetaldeído e etanol e contribuiu para a degradação de taninos em todos os experimentos. As atmosferas de armazenamento afetaram de forma diferente a emissão de voláteis da polpa e a casca. Baixo O<sub>2</sub>, a 20 °C por 27 h reduziu a emissão de compostos percebidos como frutados e doces apenas da casca, mas a 5 °C e após 15 dias degradou compostos da polpa e estimulou a produção de voláteis de notas amadeiradas e herbais. Sob elevado CO<sub>2</sub> a emissão de ésteres, aldeídos e álcoois foi reduzida na polpa e estimulada na casca (20 °C por 48 h). Em cambucis armazenados por 15 dias a 5 °C causou o aumento na produção de ésteres, aldeídos e álcoois na polpa e de ésteres na casca - voláteis associados ao aroma de fruta fresca, madura e doce.

Palavras-chave: Cambuci ; Fisiologia; Armazenamento; Qualidade.

## POSTHARVEST PHYSIOLOGY OF CAMBUCCI IN CONTROLLED ATMOSPHERE

### Abstract

Controlled atmosphere (CA) can be used as a tool for conservation and characterization of the postharvest physiology of cambuci. The aim of this work was to study the cambuci postharvest physiology under a controlled atmosphere. The project was developed in the Postharvest of Horticultural Products Laboratory of the Plant Production Department of ESALQ/USP, in Piracicaba, São Paulo. Initially, we estimated the respiration rate with the aid of the Michaelis-Menten respiration model to predict the O<sub>2</sub> consumption and at room temperature 20 °C for a short period. Next, we characterized the respiration rate at different CO<sub>2</sub> concentrations. Subsequently, we tested the concentrations of 21, 15, 10, 5, 1 kPa O<sub>2</sub> and 0.03 CO<sub>2</sub> and 0.03, 1, 4, 7, 10 kPa CO<sub>2</sub> and 21 kPa O<sub>2</sub> both at 5 °C and for 15 days and evaluated the effect on the quality attributes of cambuci in physicochemical analyses, characterization of bioactive compounds and aroma at the beginning and end of each storage. All analyses were performed in quadruplicate and data were submitted to analysis of variance (Tukey test) and multivariate analysis. The experimental design was entirely randomized in a factorial scheme, composed of 5 treatments with 4 repetitions in the first experiment and 4 treatments with 3 repetitions in the second experiment. The respiration rate of cambuci was reduced by up to 90% with reduced O<sub>2</sub> or increased CO<sub>2</sub> at 20 °C. Reducing the temperature to 5 °C extended the postharvest life of cambuci. The quality attributes - soluble solids, acidity, firmness, sugars, and organic acids - did not change significantly under any of the storage conditions, however, severe damage to appearance such as discoloration and dark bruising was seen in all treatments. Low O<sub>2</sub> and high CO<sub>2</sub> caused the accumulation of acetAldeído and ethanol and contributed to tannin degradation in all experiments. The storage atmospheres affected the emission of volatiles from the pulp and the rind differently. Low O<sub>2</sub> at 20 °C for 27 h reduced the emission of compounds perceived as frutado and doce from the rind only, but in 15 days at 5 °C degraded compounds from the pulp and stimulated the production of volatiles of amaderial and herbal notes. Under high CO<sub>2</sub> the emission of ésters, Aldeídos and Álcools was reduced in the pulp and stimulated in the peel (20 °C for 48 h). In cambucis stored for 15 days at 5 °C caused increased production of ésters, Aldeídos, and Álcools in the pulp and of ésters in the peel - volatiles associated with the aroma of fresh, ripe, doce fruit.

Keywords: Cambuci;Physiology ;. Storage ;Quality



## 4. Introdução

O armazenamento de frutos em diferentes atmosferas, com controle de gases objetivando prolongar a vida útil após colheita, é recorrente para frutas como maçã (MDITSHWA; FAWOLE; OPARA, 2018), pêssego (MURRAY et al., 2007; WANKIER; SALUNKHE; CAMPBELL, 1970) e pêra (LARRIGAUDIÈRE et al., 2001). A atmosfera controlada permite que os produtos vegetais sejam armazenados por mais tempo mantendo suas características de qualidade possibilitando, por exemplo, que os frutos sejam comercializados fora da época de produção.

A modificação dos gases (alto de CO<sub>2</sub> e baixo O<sub>2</sub>) presentes na atmosfera de armazenamento pode desacelerar processos metabólicos como a respiração, a produção de etileno e a senescência (BRIZZOLARA et al., 2020; THOMPSON; BISHOP, 2016) e, portanto, controla o metabolismo primário e secundário dos vegetais. Por este motivo, o controle dos gases constitui uma ferramenta importante para estudos sobre a fisiologia em pós-colheita pois, permite modular o ambiente de armazenamento e investigar as respostas do produto vegetal estudado.

Desta forma, é possível analisar quais são os limites tolerados pelo fruto evitando efeitos deletérios a qualidade. A extrapolação dos limites tolerados pelo fruto causará danos irreversíveis devido ao stress, como por exemplo, a anoxia. Os prejuízos mais comuns são decorrentes da fermentação como o acúmulo de acetaldeído e etanol, distúrbios fisiológicos na polpa e casca e desenvolvimento de aromas desagradáveis (BANGERTH; SONG; STREIF, 2012). A minimização desses efeitos é possível por meio da determinação de uma atmosfera de armazenamento ideal desenvolvida a partir do conhecimento sobre a fisiologia do fruto.

Frutas nativas, como o cambuci, são pouco exploradas e estudadas e até o presente momento não há estudos que elucidem os efeitos da redução do oxigênio ou do aumento do dióxido de carbono na atmosfera de armazenamento. Sobre o metabolismo do cambuci, sabe-se que a taxa respiratória é elevada (> 30 mL Kg h<sup>-1</sup>), que a produção de etileno é baixa (inferior a 2,5 µL Kg h<sup>-1</sup>) e que sensível a danos por frio (10 °C) (AZEVEDO et al., 2017; TOKAIRIN, 2017). Essa combinação de fatores diminui sua vida útil e dificulta a sua comercialização in natura, evidenciando a necessidade de conhecer os processos metabólicos e fisiológicos e assim propor soluções para aumento da sua vida de prateleira.

O estudo da taxa respiratória em diferentes composições gasosas é uma forma de compreender o metabolismo dos frutos. A taxa respiratória pode ser estimada pela determinação da produção de dióxido de carbono ou pelo consumo de O<sub>2</sub>. Os valores obtidos experimentalmente podem ser utilizados em cálculos matemáticos - como o modelo de respiração Michaelis-Menten - e prever o padrão respiratório em diferentes concentrações gasosas (FONSECA; OLIVEIRA; BRECHT, 2002a; MANGARAJ et al., 2014).

Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi estudar a fisiologia pós-colheita do cambuci sob atmosfera controlada.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atividade respiratória do cambuci foi reduzida pela alteração nos níveis de  $O_2$  e  $CO_2$  no ambiente, mesmo em um curto período de armazenamento. Desta forma ambos os gases podem ser utilizados para modular a taxa respiratória do cambuci. Mesmo com a taxa respiratória reduzida, a qualidade do cambuci decaiu rapidamente sob  $20^\circ C$ : em 27 horas para  $O_2$  e em 48 h para  $CO_2$ . Nessas condições, observamos danos a aparência dos frutos, aumento da produção de acetaldeído e etanol, degradação de taninos e do aroma da casca. Embora destes resultados terem sido mais explícitos nos tratamentos com baixo  $O_2$  e alto  $CO_2$ , também foram observados nos frutos do controle - indicando que o cambuci desencadeia rapidamente a respiração anaeróbica, causando a fermentação.

A associação da temperatura à atmosfera controlada foi essencial para ampliar conservação pós-colheita do cambuci. Estas duas técnicas juntas constituíram uma ferramenta importante para examinar as respostas ao baixo  $O_2$  e alto  $CO_2$ . Durante 15 dias de armazenamento os atributos físico-químicos - incluindo a aparência - foram pouco alterados, enquanto após 2 dias a  $20^\circ C$  e atmosfera convencional o dano a aparência desenvolveu-se a um nível drástico e irreversível. O teor de acetaldeído e etanol diminuiu ao longo do armazenamento para a maior parte dos tratamentos, exceto para as concentrações mais limitantes com 1kPa de  $O_2$  e mais que 7 kPa de  $CO_2$ , nestes tratamentos também observamos a maior degradação de taninos da casca. O aroma foi notavelmente modificado, em geral, observou-se que sob baixo  $O_2$  prevaleceram voláteis terpênicos de notas aromáticas majoritariamente amadeiradas e herbais e em atmosferas com elevado  $CO_2$  observamos a predominância de ésteres de notas frutadas e doces.

Estes resultados constituem a primeira referência sobre a fisiologia pós-colheita do cambuci em diferentes atmosferas de armazenamento. A modificação da composição atmosférica e o uso de temperaturas reduzidas parecem ser a melhor possibilidade para o aumento da vida pós-colheita do cambuci.

No entanto, para viabilizar o transporte e comercialização da fruta fresca, ressalta-se a necessidade investigar e desenvolver melhores combinações entre temperatura e níveis de  $O_2$  e  $CO_2$  - que minimizem o dano a aparência, reduza o acúmulo de acetaldeído e etanol e preserve o aroma do cambuci.

## REFERÊNCIAS

- AMORÓS, A. et al. Physico-chemical and physiological changes during fruit development and ripening of five loquat (*Eriobotrya Japonica* Lindl.) cultivars. **Food Science and Technology International**, v. 9, n. 1, p. 43–51, 3 fev. 2003.
- AMTHOR, J. S. Respiration in a future, higher-CO<sub>2</sub> world. **Plant, Cell & Environment**, v. 14, n. 1, p. 13–20, 1 jan. 1991.
- ANDRADE, B. A. G. DE F.; FONSECA, P. Y. G. DA; LEMOS, F. **Cambuci: O Fruto, o Bairro, a Rota**. 1. ed. São Paulo: Ourivesaria da Palavra, 2011.
- ARGENTA, L. C. et al. Production of volatile compounds by Fuji apples following exposure to high CO<sub>2</sub> or low O<sub>2</sub>. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 19, p. 5957–5963, 22 set. 2004.
- ARGENTA, L. C.; FAN, X.; MATTHEIS, J. P. Responses of ‘Fuji’ apples to short and long duration exposure to elevated CO<sub>2</sub> concentration. **Postharvest Biology and Technology**, v. 24, n. 1, p. 13–24, 1 jan. 2002.
- AZEVEDO, M. C. S. et al. Physicochemical variability of cambuci fruit (*Campomanesia phaea*) from the same orchard, from different locations and at different ripening stages. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 2, p. 526–535, 1 jan. 2017a.
- AZEVEDO, M. C. S. et al. Physicochemical variability of cambuci fruit (*Campomanesia phaea*) from the same orchard, from different locations and at different ripening stages. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 2, p. 526–535, 1 jan. 2017b.
- BAMBALELE, N. L. et al. Recent advances on postharvest technologies of mango fruit: a review. **International Journal of Fruit Science**, v. 21, n. 1, p. 565–586, 2021.
- BANGERTH, F. K.; SONG, J.; STREIF, J. Physiological impacts of fruit ripening and storage conditions on aroma volatile formation in apple and strawberry fruit: A review. **HortScience**, v. 47, n. 1, p. 4–10, jan. 2012.
- BEAUDRY, R. M. et al. Modified-atmosphere Packaging of Blueberry Fruit: Effect of Temperature on Package O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub>. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 117, n. 3, p. 436–441, 1 maio 1992.
- BENDER, R. J. et al. Aroma volatiles of mature-green and tree-ripe “Tommy Atkins” mangoes after controlled atmosphere vs. air storage. **HortScience**, v. 35, n. 4, p. 684–686, 2000.
- BENDER, R. J.; BRECHT, J. K.; BALDWIN, E. A. Aroma of mature-green and tree-ripe mangoes after refrigerated air or controlled atmosphere storage. **Ciência Rural**, v. 52, n. 6, 22 nov. 2021.
- BICSAK, T. A. et al. Tomato alcohol dehydrogenase: purification and substrate specificity. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v. 216, n. 2, p. 605–615, 1 jul. 1982.
- BODBODAK, S.; MOSHFEGHIFAR, M. Advances in controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. In: SIDDIQUI, M. W. (Ed.). **Eco-Friendly Technology for Postharvest Produce Quality**. 1. ed. Boston: Elsevier, 2016. p. 39–76.
- BONGHI, C. et al. Peach fruit ripening and quality in relation to picking time, and hypoxic and high CO<sub>2</sub> short-term postharvest treatments. **Postharvest Biology and Technology**, v. 16, n. 3, p. 213–222, 1 jul. 1999.
- BOTH, V. et al. Effect of low oxygen conditioning and ultralow oxygen storage on the volatile profile, ethylene production and respiration rate of ‘Royal Gala’ apples. **Scientia Horticulturae**, v. 209, p. 156–164, 19 set. 2016.

- BRECHT, J. K.; PLIAKONI, E. D.; BATZIAKAS, K. The impact of temperature on atmosphere requirements and effects: the limits of design and utility for CA/MA/MAP. In: GIL, M. I.; BEAUDRY, R. M. (Eds.). . **Controlled and Modified Atmospheres for Fresh and Fresh-Cut Produce**. 1. ed. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 147–166.
- BRIZZOLARA, S. et al. Primary metabolism in fresh fruits during storage. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1, 19 fev. 2020.
- BRUEMMER, J. H. Regulation of acetaldehyde and ethanol accumulation in citrus fruit. In: PARLIMENT, T. H.; CROTEAU, R. (Eds.). . **Biogenesis of Aromas**. 317. ed. flórida: [s.n.], p. 275–285.
- CAIRES, L.; RACHED, M.; BOFF, M. **A volta do cambuci** -. Disponível em: <<https://www.comciencia.br/a-volta-do-cambuci/>>. Acesso em: 30 jan. 2022.
- CALBO, A. G. Adaptação de um fluxcentro para estudos de trocas gasosas e um método de aferição de capilares. **Pesq. agropcc. bras.**, v. 24, n. 6, p. 733–739, 1989.
- CALBO, A. G.; MORETTI, C. L.; HENZ, G. P. Respiração de frutas e hortaliças. **Comunicado Técnico**, v. 46, p. 1–10, 2007.
- CANTRE, D. et al. Tissue breakdown of mango (*Mangifera indica* L. cv. Carabao) due to chilling injury. **Postharvest Biology and Technology**, v. 125, 2017.
- CARMELO, L. G. P. et al. Portable flow board for storage of fruits and vegetables in mini-chambers with controlled atmosphere. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 6, p. 1105–1116, 2015.
- CEFOLA, M. et al. Relationships among volatile metabolites, quality and sensory parameters of 'Italia' table grapes assessed during cold storage in low or high CO<sub>2</sub> modified atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, v. 142, p. 124–134, 1 ago. 2018.
- CHANG, E.-H.; LEE, J.-S.; KIM, J.-G. Cell wall degrading enzymes activity is altered by high carbon dioxide treatment in postharvest 'Mihong' peach fruit. **Scientia Horticulturae**, v. 225, p. 399–407, 2017.
- CHAVEZ-FRANCO, S. H.; KADER, A. A. Effects of CO<sub>2</sub> on ethylene biosynthesis in "Bartlett" pears. **Postharvest Biology and Technology**, v. 3, n. 3, 1993.
- CHENLO, F. et al. Effects of storage conditions on sugars and moisture content of whole chestnut fruits. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 34, n. 4, p. 609–620, ago. 2010.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2ª ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005.
- CIRILLI, M. et al. Temperature and water loss affect ADH activity and gene expression in grape berry during postharvest dehydration. **Food Chemistry**, v. 132, n. 1, p. 447–454, 1 maio 2012.
- CLIFF, M. A. et al. Quality of fresh-cut apple slices stored in solid and micro-perforated film packages having contrasting O<sub>2</sub> headspace atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, v. 58, n. 3, p. 254–261, 1 dez. 2010.
- COLELLI, G.; MITCHELL, F. G.; KADER, A. A. Extension of postharvest Life of 'Mission' figs by CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres. **HortScience**, v. 26, n. 9, 1991.
- CORRÊA, T. R. et al. Multivariate analysis of mineral content associated with flesh browning disorder in 'Fuji' apples produced in Southern Brazil. **Bragantia**, v. 76, n. 2, p. 327–334, 15 maio 2017.
- COUVERCHEL, J. F.; COUVERCHEL, J. F. **Mémoire sur la maturation des fruits**. Paris: Impr. Royale, 1821.
- CUKROV, D. et al. Extreme hypoxic conditions induce selective molecular responses and metabolic reset in detached apple fruit. **Frontiers in Plant Science**, v. 7, n. FEB2016, 2016.
- DADZIE, B. K. et al. Role of skin resistance to gas diffusion in the response of fruits to modified atmospheres. **Acta Horticulturae**, n. 343, p. 129–134, jun. 1993.

- DAVEY, M. W. et al. Plant L-ascorbic acid: chemistry, function, metabolism, bioavailability and effects of processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, n. 80, p. 825 a 860, 1999.
- DAVIS, P.L. CHACE, W. G. Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of headspace. **HortScience**, p. 117–119, 1969.
- DEELL, J. R.; TOIVONEN, P. M. A. Chlorophyll fluorescence as a nondestructive indicator of broccoli quality during storage in modified-atmosphere packaging. **HortScience**, v. 35, n. 2, p. 256–259, 1 abr. 2000.
- DI MATTEO, V.; ESPOSITO, E. Biochemical and therapeutic effects of antioxidants in the treatment of Alzheimer’s disease, Parkinson’s disease, and amyotrophic lateral sclerosis. **Current drug targets. CNS and neurological disorders**, v. 2, n. 2, p. 95–107, abr. 2003.
- DÍAZ DE LEÓN-SÁNCHEZ, F. et al. Effect of refrigerated storage on aroma and alcohol dehydrogenase activity in tomato fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 54, n. 2, p. 93–100, 1 nov. 2009.
- DICKE, M.; VAN LOON, J. J. A.; SOLER, R. Chemical complexity of volatiles from plants induced by multiple attack. **Nature Chemical Biology** 2009 5:5, v. 5, n. 5, p. 317–324, 17 abr. 2009.
- DIXON, J.; HEWETT, E. W. Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: a review. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, v. 28, n. 3, p. 155–173, 2000.
- DIXON, J.; HEWETT, E. W. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: A Review. 2010.
- DONADIO, L. C. Frutas nativas do Brasil : como despertar o interesse pela produção e comercialização. **VI Encontro sobre Pequenas Frutas e Frutas Nativas do Mercosul FRUTAS**, v. d, p. 181–182, 2012.
- DONADIO, L. C. ; MORO, F. V.; SERVIDONE, A. A. . **Frutas brasileiras**. Jaboticabal: Funep, 2002.
- DONADO-PESTANA, C. M. et al. Phenolic compounds from cambuci (*Campomanesia phaea* O. Berg) fruit attenuate glucose intolerance and adipose tissue inflammation induced by a high-fat, high-sucrose diet. **Food Research International**, v. 69, p. 170–178, 2015.
- EL HADI, M. A. M. et al. **Advances in fruit aroma volatile research** *Molecules* Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), , jul. 2013.
- ES-SAFI, N. E.; CHEYNIER, V.; MOUTOUNET, M. Role of aldehydic derivatives in the condensation of phenolic compounds with emphasis on the sensorial properties of fruit-derived foods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 20, p. 5571–5585, 25 set. 2002.
- ESCOBEDO-AVELLANEDA, Z.; WELTI-CHANES, J. Controlled atmosphere storage: applications for bulk storage of foodstuffs. In: CABALLERO, B.; TOLDRA, F.; FINGLAS, P. M. (Eds.). . **Encyclopedia of Food and Health**. 1. ed. Monterrey: Elsevier, 2016. p. 301–307.
- FAN, L. et al. Ethanol production and chlorophyll fluorescence predict breakdown of heat-stressed apple fruit during cold storage. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 130, n. 2, p. 237–243, 1 mar. 2005.
- FAN, Z. et al. Strawberry sweetness and consumer preference are enhanced by specific volatile compounds. **Horticulture Research** 2021 8:1, v. 8, n. 1, p. 1–15, 1 abr. 2021.
- FELLMAN, J. K. et al. Ester biosynthesis in “Rome” apples subjected to low-oxygen atmospheres . **Postharvest Biology and Technology**, v. 3, p. 201–214, 1993.
- FONSECA, S. C.; OLIVEIRA, F. A. .; BRECHT, J. K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 2, p. 99–119, abr. 2002a.

- FONSECA, S. C.; OLIVEIRA, F. A. .; BRECHT, J. K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 2, p. 99–119, 1 abr. 2002b.
- FONSECA, S. C.; OLIVEIRA, F. A. . R.; BRECHT, J. K. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 2, p. 99–119, abr. 2002c.
- FORNEY, C. F. Horticultural and other factors affecting aroma volatile composition of small fruit. **HortTechnology**, v. 11, n. 4, p. 529–538, 1 jan. 2001.
- GOMES, B. L.; FABI, J. P.; PURGATTO, E. Cold storage affects the volatile profile and expression of a putative linalool synthase of papaya fruit. **Food Research International**, v. 89, p. 654–660, nov. 2016.
- GRAN, C. D.; BEAUDRY, R. M. Determination of the low oxygen limit for several commercial apple cultivars by respiratory quotient breakpoint. **Postharvest Biology and Technology**, v. 3, p. 259, 1993.
- GUNES, G.; LIU, R. H.; WATKINS, C. B. Controlled-atmosphere effects on postharvest quality and antioxidant activity of cranberry fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 21, p. 5932–5938, 2002.
- GUPTA, K. J.; ZABALZA, A.; VAN DONGEN, J. T. Regulation of respiration when the oxygen availability changes. **Physiologia Plantarum**, v. 137, n. 4, p. 383–391, 1 dez. 2009.
- HARB, J.; BISHARAT, R.; STREIF, J. Changes in volatile constituents of blackcurrants (*Ribes nigrum* L. cv. ‘Titania’) following controlled atmosphere storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, n. 3, p. 271–279, 1 mar. 2008.
- HO, Q. T. et al. Gas diffusion properties at different positions in the pear. **Postharvest Biology and Technology**, v. 41, n. 2, p. 113–120, 1 ago. 2006.
- HO, Q. T. et al. A continuum model for metabolic gas exchange in pear fruit. **PLoS Computational Biology**, v. 4, n. 3, p. 1000023, mar. 2008.
- HUI, Y. H. et al. **Handbook of fruit and vegetable flavors**. [s.l.: s.n.].
- HULME, A. C. **Carbon dioxide injury and the presence of succinic acid in apples [30]***Nature*, 1956.
- HUMPHREY, A. M. Chlorophyll. **Food Chemistry**, v. 5, n. 1, p. 57–67, 1 jan. 1980.
- J.F. GREGORY. Food Chemistry. In: OWEN R. FENNEMA (Ed.). . **Food Chemistry**. 3rd ed. ed. Madison: MARCEL DEKKER, INC, 1996. v. 76p. 559–578.
- JAMES, H. J.; JOBLING, J. J. Contrasting the structure and morphology of the radial and diffuse flesh browning disorders and CO<sub>2</sub> injury of ‘Cripps Pink’ apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 53, n. 1–2, p. 36–42, 1 jul. 2009.
- JORNAL PIRES RURAL. O cultivo do cambuci na experiência do produtor Paulo Nakanishi. **Jornal Pires Rural**, n. 223, p. 2, 2019.
- KADER, A. A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food Technology**, v. 40, n. 5, p. 99–100 & 102–104, 1986.
- KADER, A. A. et al. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 28, n. 1, p. 1–30, jan. 1989.
- KADER, A. A. A perspective on postharvest horticulture (1978-2003). **HortScience**, v. 38, n. 5, p. 1004–1008, 2003.
- KADER, A. A. Flavor quality of fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 11, p. 1863–1868, 30 ago. 2008.
- KADER, A. A. Postharvest Technology of Horticultural Crops - An Overview from Farm to Fork. **Journal of Applied Sciences and Technology**, v. 1, 2013.

- KADER, A. A.; WATKINS, C. B. Modified atmosphere packaging - toward 2000 and beyond. **HortTechnology**, v. 10, n. 3, p. 483–486, 2000.
- KANIUGA, Z. Chilling response of plants: importance of galactolipase, free fatty acids and free radicals\*. **Plant Biology**, v. 10, n. 2, p. 171–184, 1 mar. 2008.
- KATO-NOGUCHI, H.; WATADA, A. E. Regulation of glycolytic metabolism in fresh-cut carrots under low oxygen atmosphere. **J. AMER. SOC. HORT. SCI.**, v. 121, n. 1, p. 123–126, 1996.
- KE DANGYANG; ZHOU, L.; KADER, A. A. Mode of oxygen and carbon dioxide action on strawberry ester biosynthesis. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 119, n. 5, p. 971–975, 1 set. 1994.
- KERBEL, E. L.; KADER, A. A.; ROMANI, R. J. Effects of elevated CO<sub>2</sub> concentrations on glycolysis in intact 'Bartlett' pear fruit. **Plant Physiology**, v. 86, n. 4, p. 1205–1209, 1 abr. 1988.
- KNEE, MICHAEL. **Fruit quality and its biological basis**. 1. ed. Columbus: Sheffield Academic Press, 2002.
- KRIS-ETHERTON, P. M. et al. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. **The American Journal of Medicine**, v. 113, n. 9, p. 71–88, 30 dez. 2002.
- KUBO, Y.; INABA, A.; NAKAMURA, R. Respiration and C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> production in various harvested crops held in CO<sub>2</sub>-enriched atmospheres. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 115, n. 6, 1990.
- LAKAKUL, R.; BEAUDRY, R. M.; HERNANDEZ, R. J. Modeling respiration of apple slices in modified-atmosphere packages. **Journal of Food Science**, v. 64, n. 1, p. 105–110, jan. 1999.
- LANDRUM, L. R.; KAWASAKI, M. L. The genera of Myrtaceae in Brazil: an Illustrated synoptic treatment and identification keys. **Brittonia**, v. 49, n. 4, p. 508, 1997.
- LARRIGAUDIÈRE, C. et al. Short-term effects of air and controlled atmosphere storage on antioxidant metabolism in conference pears. **Journal of Plant Physiology**, v. 158, n. 8, p. 1015–1022, 1 jan. 2001.
- LARSEN, M.; WATKINS, C. B. Firmness and concentrations of acetaldehyde, ethyl acetate and ethanol in strawberries stored in controlled and modified atmospheres. **Postharvest Biology and Technology**, v. 5, n. 1–2, p. 39–50, 1 jan. 1995.
- LAU, O. L. Effect of growing season, harvest maturity, waxing, low O<sub>2</sub> and elevated CO<sub>2</sub> on flesh browning disorders in 'Braeburn' apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 14, n. 2, p. 131–141, 1 out. 1998.
- LEAO, M. M. et al. The potencial of Campomanesia phaea O. Berg Landrum (Cambuci) as natural source of vitamin C. **Athens Journal of Sciences**, v. 4, n. 1, p. 37–45, 2017.
- LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, n. 3, p. 207–220, 2000.
- LIAMNIMITR, N. et al. Optimization of bulk modified atmosphere packaging for long-term storage of "Fuyu" persimmon fruit. **Postharvest Biology and Technology journal**, v. 135, p. 1–7, 2018.
- LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 1. ed. Nova Odessa: Plantarum, 1992.
- LURIE, S.; CRISOSTO, C. H. Chilling injury in peach and nectarine. **Postharvest Biology and Technology**, v. 37, n. 3, 2005.
- MACLEOD, A. J.; PIERIS, N. M. Comparison of the volatile components of some mango cultivars. **Phytochemistry**, v. 23, n. 2, p. 361–366, 1 jan. 1984.
- MANGARAJ, S. et al. Design and development of modified atmosphere packaging system for guava (cv. Baruipur). **Journal of food science and technology**, v. 51, n. 11, p. 2925–46, nov. 2014.



- MANGARAJ, S.; K.GOSWAMI, T.; MAHAJAN, P. V. Development and validation of a comprehensive model for map of fruits based on enzyme kinetics theory and arrhenius relation. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 7, p. 4286–4295, 2 jul. 2015.
- MATHOOKO, F. M. Regulation of respiratory metabolism in fruits and vegetables by carbon dioxide. **Postharvest Biology and Technology**, v. 9, n. 3, p. 247–264, 1996.
- MATSUO, T.; ITOO, S. A model experiment for de-astringency of Persimmon fruit with high carbon dioxide treatment: in vitro gelation of kaki-tannin by reacting with acetaldehyde. **Agricultural and Biological Chemistry**, v. 46, n. 3, p. 683–689, 2014.
- MAUL, F. et al. Tomato flavor and aroma quality as affected by storage temperature. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 7, p. 1228–1237, 1 out. 2000.
- MCGARVEY, D. J.; CROTEAU, R. Terpenoid metabolism. **The Plant Cell**, v. 7, p. 1015–1026, 1995.
- MDITSHWA, A.; FAWOLE, O. A.; OPARA, U. L. Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples—A review. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 16, p. 59–68, 1 jun. 2018.
- MEENTS, A. K.; MITHÖFER, A. Plant–plant communication: is there a role for volatile damage-associated molecular patterns? **Frontiers in Plant Science**, v. 11, p. 1538, 15 out. 2020.
- MINGUEZ-MOSQUERA, M. I.; FERNANDEZ, J.; GANDUL-ROJAS, B. Pigment changes in olives during fermentation and brine storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 37, n. 1, p. 8–11, 1 jan. 2002.
- MUNOZ, M. T.; ESCRIBANO, M. I.; MERODIO, C. Ethanol metabolism in cherimoya fruit during storage at ambient and under high CO<sub>2</sub> atmospheres. **Journal of Horticultural Science**, v. 72, n. 3, 1997.
- MURRAY, R. et al. Combined pre-storage heat treatment and controlled atmosphere storage reduced internal breakdown of ‘Flavorcrest’ peach. **Postharvest Biology and Technology**, v. 44, n. 2, p. 116–121, 1 maio 2007.
- MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 24 fev. 2000.
- ODRIOZOLA-SERRANO, I.; HERNÁNDEZ-JOVER, T.; MARTÍN-BELLOSO, O. Comparative evaluation of UV-HPLC methods and reducing agents to determine vitamin C in fruits. **Food Chemistry**, v. 105, n. 3, p. 1151–1158, 1 jan. 2007.
- PALIYATH, G. et al. **Postharvest biology and technology of fruits, vegetables, and flowers**. 1. ed. Ames: WILEY, 2008.
- PANDIT, S. S. et al. Cultivar relationships in mango based on fruit volatile profiles. **Food Chemistry**, v. 114, n. 1, p. 363–372, 1 maio 2009.
- PARK, M.-H.; SANGWANANGKUL, P.; CHOI, J.-W. Reduced chilling injury and delayed fruit ripening in tomatoes with modified atmosphere and humidity packaging. **Scientia Horticulturae**, v. 231, p. 66–72, 27 jan. 2018.
- PASTERNAK, T. et al. Complementary interactions between oxidative stress and auxins control plant growth responses at plant, organ, and cellular level. **Journal of Experimental Botany**, v. 1, n. 418, p. 8–12, 1 ago. 2011.
- PAUL, V.; PANDEY, R. Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability - A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 7, p. 1223–1250, 2014a.
- PAUL, V.; PANDEY, R. Role of internal atmosphere on fruit ripening and storability - A review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, n. 7, p. 1223–1250, 2014b.
- PENG, H. P. et al. Signaling events in the hypoxic induction of alcohol dehydrogenase gene in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 126, n. 2, 2001.

- PEPPELENBOS, H. W.; VAN'T LEVEN, J. Evaluation of four types of inhibition for modelling the influence of carbon dioxide on oxygen consumption of fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 7, n. 1–2, p. 27–40, 1 jan. 1996.
- PÉREZ, A. G. et al. Evolution of Strawberry Alcohol Acyltransferase Activity during Fruit Development and Storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 44, n. 10, p. 3286–3290, 1996.
- PESIS, E. et al. Modified atmosphere and modified humidity packaging alleviates chilling injury symptoms in mango fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 19, n. 1, p. 93–101, 1 maio 2000.
- PESIS, E. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. **Postharvest Biology and Technology**, v. 37, n. 1, p. 1–19, jul. 2005a.
- PESIS, E. The role of the anaerobic metabolites, acetaldehyde and ethanol, in fruit ripening, enhancement of fruit quality and fruit deterioration. **Postharvest Biology and Technology**, v. 37, n. 1, p. 1–19, 1 jul. 2005b.
- PICHERSKY, E.; GERSHENZON, J. The formation and function of plant volatiles: Perfumes for pollinator attraction and defense. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 5, n. 3, p. 237–243, 1 jun. 2002.
- PIERIK, R.; BALLARÉ, C. L.; DICKE, M. Ecology of plant volatiles: taking a plant community perspective. **Plant, Cell & Environment**, v. 37, n. 8, p. 1845–1853, 1 ago. 2014.
- PINTÓ, E. et al. Role of fermentative and antioxidant metabolisms in the induction of core browning in controlled-atmosphere stored pears. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 81, n. 81, p. 364–370, 2001.
- RUFINO, M. DO S. M. et al. Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non-traditional tropical fruits from Brazil. **Food Chemistry**, v. 121, n. 4, p. 996–1002, 2010.
- SALTVEIT, M. E. Respiratory metabolism. **Postharvest Ripening Physiology of Crops**, n. 1, p. 139–156, 2016.
- SALTVEIT, M. E. Respiratory Metabolism. **Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables**, p. 73–91, 1 jan. 2019.
- SANZ, C.; OLÍAS, R.; PÉREZ, A. G. Effect of modified atmosphere on alcohol acyltransferase activity and volatile composition of strawberry. **Acta Horticulturae**, v. 600, p. 563–566, 10 mar. 2003.
- SCALBERT, A. et al. Dietary Polyphenols and the Prevention of Diseases. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 45, n. 4, p. 287–306, jun. 2005.
- SEIFRIED, H. E. et al. A review of the interaction among dietary antioxidants and reactive oxygen species. **The Journal of Nutritional Biochemistry**, v. 18, n. 9, p. 567–579, set. 2007.
- SELCUK, N.; ERKAN, M. The effects of modified and palliflex controlled atmosphere storage on postharvest quality and composition of ‘Istanbul’ medlar fruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 99, p. 9–19, 1 jan. 2015.
- SHAN, W. et al. Antisense suppression of alcohol acetyltransferase gene in ripening melon fruit alters volatile composition. **Scientia Horticulturae**, v. 139, p. 96–101, 18 maio 2012.
- SHI, F. et al. Low-temperature stress-induced aroma loss by regulating fatty acid metabolism pathway in ‘Nanguo’ pear. **Food Chemistry**, v. 297, 2019.
- SHIMADA, T. et al. Isolation and characterization of (E)-beta-ocimene and 1,8 cineole synthases in Citrus unshiu Marc. **Plant Science**, v. 168, n. 4, p. 987–995, 1 abr. 2005.
- SIMON, J. E. et al. Water stress-induced alterations in essential oil content and composition of sweet basil. **Journal of Essential Oil Research**, v. 4, n. 1, p. 71–75, 2011.
- SPRICIGO, P. C. et al. Classical food quality attributes and the metabolic profile of cambuci, a native brazilian Atlantic Rainforest fruit. **Molecules** 2021, Vol. 26, Page 3613, v. 26, n. 12, p. 3613, 12 jun. 2021.

- SUN, B.; SILVA, J. M. R.; SPRANGER, I. Critical factors of vanillin assay for catechins and proanthocyanidins. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 46, n. 10, p. 4267–4274, 1998.
- SUO, J. et al. Characteristics of chilling injury-induced lignification in kiwifruit with different sensitivities to low temperatures. **Postharvest Biology and Technology**, v. 135, 2018.
- SUZUKI, Y. et al. Ultrastructural evidence for the inhibition of chloroplast-to-chromoplast conversion in broccoli floret sepals by ethanol vapor. **Postharvest Biology and Technology**, v. 35, n. 3, p. 237–243, 1 mar. 2005.
- TALASILA, P. C.; CHAU, K. V.; BRECHT, J. K. Effects of gas concentrations and temperature on O<sub>2</sub> consumption of strawberries. **Transactions of the ASAE**, v. 35, n. 1, p. 221–224, jan. 1992.
- THOMPSON, A. K. **Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables**. 2. ed. Wallingford: CABI, 2010.
- THOMPSON, A. K.; BISHOP, D. Controlled atmosphere technology. In: **Reference Module in Food Science**. [s.l.] Elsevier, 2016.
- TOKAIRIN, T. DE O. **Caracterização e conservação pós-colheita de cambuci, fruto nativo da Mata Atlântica**. [s.l.] Universidade de São Paulo, 2017.
- TOKAIRIN, T. DE O. et al. Cambuci: a native fruit from the Brazilian Atlantic forest showed nutraceutical characteristics. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 5, out. 2018.
- VALLILO, M. I. et al. Características físicas e químicas dos frutos do cambucizeiro (*Campomanesia phaea*). **Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal**, v. 27, n. 011, p. 241–244, 2005a.
- VALLILO, M. I. et al. Características físicas e químicas dos frutos do cambucizeiro (*Campomanesia phaea*). **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 27, n. 2, p. 241–244, 2005b.
- VICKERS, C. E. et al. A unified mechanism of action for volatile isoprenoids in plant abiotic stress. **Nature Chemical Biology** 2009 5:5, v. 5, n. 5, p. 283–291, 17 abr. 2009.
- VOLZ, R. K. et al. Prediction of controlled atmosphere-induced flesh browning in ‘Fuji’ apple. **Postharvest Biology and Technology**, v. 13, n. 2, p. 97–107, 1 abr. 1998.
- WANG, C. T. et al. Effect of modified atmosphere packaging (MAP) with low and superatmospheric oxygen on the quality and antioxidant enzyme system of golden needle mushrooms (*Flammulina velutipes*) during postharvest storage. **European Food Research and Technology**, v. 232, n. 5, p. 851–860, 2 maio 2011.
- WANKIER, B. N.; SALUNKHE, D. K.; CAMPBELL, W. F. Effects of controlled atmosphere storage on biochemical changes in apricot and peach fruit. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, v. 95, p. 604–9, 1970.
- WATKINS, C. B.; LIU, F. W. Temperature and carbon dioxide interactions on quality of controlled atmosphere-stored “Empire” apples. **HortScience**, v. 45, n. 11, 2010.
- WATKINS, C. B.; SILSBY, K. J.; GOFFINET, M. C. Controlled atmosphere and antioxidant effects on external CO<sub>2</sub> injury of ‘Empire’ apples. **HortScience**, v. 32, n. 7, p. 1242–1246, 1 dez. 1997.
- WISE, R. R.; NAYLOR, A. W.; GOODWIN AVE, S. Chilling-enhanced photooxidation the peroxidative destruction of lipids during chilling injury to photosynthesis and ultrastructure. **Plant Physiology**, v. 83, n. 2, p. 272–277, 1 fev. 1987.
- YAHIA, E. M. Modified and controlled atmospheres for tropical fruits. **Horticultural Reviews**, p. 123–183, 26 jul. 2010.
- ZHANG, Y. et al. Comprehensive insight into the chlorophyll degradation mechanism of postharvest broccoli heads under elevated O<sub>2</sub> controlled atmosphere. **Scientia Horticulturae**, v. 288, p. 110395, 15 out. 2021.