Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

Técnicas de conservação pós-colheita para cenoura roxa recém-introduzida
no Brasil

Natalia Dallocca Berno

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Piracicaba 2018

Natalia Dallocca Berno Bacharel em Ciências dos Alimentos

	~	, 11 ··		,	
Lechicas de	CONCERVACAO	nos-colheita na	ara cenolira roya	recém-introduz	ida no Kracil
I CCI II Cas ac	consci vacao	DOS CONTENTA DE	ii a cciioai a i oxa	I I CCCIII IIIIII OGGE	iaa iio biasii

Orientadora:

Profa. Dra. MARTA HELENA FILLET SPOTO

Co-orientador:

Prof. Dr. RICARDO ALFREDO KLUGE

Tese apresentada para obtenção do título de Doutora em Ciências. Área de concentração: Ciência e Tecnologia de Alimentos

Piracicaba 2018

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

Berno, Natalia Dallocca

Técnicas de conservação pós-colheita para cenoura roxa recémintroduzida no Brasil / Natalia Dallocca Berno. - Piracicaba, 2018.

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

1. Daucus carota L. 2. Refrigeração 3. Atmosfera modificada 4. Recobrimentos comestíveis 5. Compostos bioativos I. Título

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Nelson e Ana Lúcia, por me incentivarem e apoiarem durante toda essa jornada

> Ao meu marido, Gustavo, com o qual divido minha vida

Ao nosso filho que, embora tão pequeno, tem me dado forças para concluir essa importante etapa da vida

Dedico e ofereço essa conquista.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, sabedoria, bondade e por sempre iluminar meus passos.

A todos aqueles aos quais dediquei este trabalho, pelo constante incentivo, carinho paciência e compreensão.

Aos meus irmãos, Daniel e Carolina, pelas alegrias compartilhadas.

À Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (Esalq-USP), escola grandiosa, meu quintal nos finais de semana durante a infância, e local de estudo e formação profissional.

À Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (Fapesp), pelo financiamento desse projeto (Processo número 2014/07779-6).

Ao PPG em Ciência e Tecnologia em Alimentos, pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

Ao Departamento de Agroindústria, Alimentos e Nutrição e ao Departamento de Ciências Biológicas, pela disponibilidade de espaço para a realização dos meus experimentos.

Ao Prof. Dr. Ricardo Alfredo Kluge, pela grande amizade, confiança e orientação durante todos esses anos.

À Prof^a Dra. Marta Helena Fillet Spoto, pela orientação deste projeto, amizade e apoio. Faço minhas as suas palavras: Foi uma grata surpresa!

À Profa. Dra. Giuseppina Pace de Lima e ao Prof. Eduardo Purgatto pela colaboração, apoio e amizade.

Aos Srs. Osaki Mishima e Luis Filipe Correa pelo suporte dado com a matéria prima para a elaboração deste projeto.

À empresa StePac (Johnson Matthey Group) e ao funcionário Yukio Kuroda Nabeshima pela solicitude e fornecimento das embalagens Xtend®.

À empresa AgroFresh, em especial ao grande amigo Felipe Terra, pelo fornecimento do SmartfreshSM utilizado nos experimentos.

A todos os integrantes do Laboratório de Fisiologia e Bioquímica de Pós-colheita e do Labratório de Frutas e Hortaliças pela imensa ajuda em todas as etapas desse processo. Vocês foram fundamentais para que esse projeto pudesse sair do papel. Em especial às queridas "Cenourinhas": Bruna Thomé Nastaro, Lorena Pierina Marcelino Cordeiro, Carolina

Scabello Prando, Juliana de Proença Vetucci e Kethlin Flora Curiel por terem me dado a honra de fazerem parte do meu projeto. Vocês são excepcionais.

Aos integrantes do Laboratório de Bioquímica Pós-colheita, da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, especialmente ao Igor Otávio Minatel, Cristine Vanz Borges, Marla Silvia Diamente e Aline Mendes Gouveia, pela gentileza, parceria, amizade e ajuda nas análises. Fui muito bem acolhida por todos.

Aos queridos pós-graduandos: Allan de Abreu Vieira, Ana Paula Preczenhak, Bruna Filippin, Bruna Isadora Trennepohl, Bruna Lorena Aguiar Carneiro, Bruna Orsi, Carlos Dornelles Ferreira Soares, Cristiane Calaboni, Juliana Tauffer de Paula, Jacqueline de Oliveira, Jaqueline Tezotto-Uliana, Magda Tessmer, Paula Porreli Moreira da Silva, Yane Caroline dos Anjos Bezerra, com os quais dividi cada batalha e cada conquista alcançada. Obrigada pela amizade sincera, companheirismo, força e os momentos de distração durante todo o percurso. As coisas se tornaram muito mais leves com vocês por perto. Não tenho palavras para agradecê-los. Os pitacos renderam muito, não é mesmo?

As amigas que ganhei pela APCAL, Anaíle dos Mares Biazotto, Débora Rosche Ferreira Planello e Mariana Chiarini Silveira, por serem muito mais que colegas de profissão; são companheiras para a vida!

Aos funcionários Fábio Benedito Rodrigues, Maria Solizete Granziol Silva, Regina Célia Cardoso Marafon, Francisco Carlos Antoniolli e a Ana Paula Meneghetti, pela amizade, competência e auxílio.

A todos meus amigos da Esalq, em especial às amigas Nataly Maria Viva de Toledo e Ticyana Carone Banzato pela amizade, companheirismo, carinho e pelos diversos momentos de alegria durante todos esses anos.

Ao casal Melina Zanlorenzi Puglia e Danilo Costa Seabra, queridos amigos, que me acolheram tão bem em casa todas as vezes que precisei. E ao Paulinho Minduca, mesmo ainda tão pequeno, dividindo seu quarto! Vocês são indescritíveis.

As "Curuminhas", cada uma na sua importância... distante... perto... grande... pequena... mas nunca ausente... Vocês me compreendem sem entender nada! Sem palavras para agradecer nossos momentos e conversas. Levo-as sempre comigo no coração!

A família "Tubarão", que só tem crescido em amor, em amizade e em número! Gratidão por compartilharmos a vida! Aos demais amigos e familiares por me fazerem lembrar que também há vida fora da universidade; pelos fins de semana descontraídos e divertidos, fundamentais para me trazer de volta à realidade.

E a todos aqueles que, direta ou indiretamente colaboraram na realização e desenvolvimento deste trabalho, que, outrora, deixei de citar.

Minha eterna gratidão e carinho!!!

EPÍGRAFE

Provérbios 4: 1-13

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
1. INTRODUÇÃO	11
2. BAIXA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA ELEVADA REDUZE AS PERDAS EM CENOURAS ROXAS	
RESUMO ABSTRACT 2.1. Introdução 2.2. Material e métodos 2.3. Resultados 2.4. Discussão 2.5. Conclusão	
3. ATMOSFERA MODIFICADA PROLONGA A QUALIDADE COMERC	
RESUMO	
4. RECOBRIMENTO COMESTÍVEL NA CONSERVAÇÃO DE CON QUALIDADE COMERCIAL DE CENOURA ROXA	
RESUMO ABSTRACT 4.1. Introdução 4.2. Material e Métodos 4.3. Resultados 4.4. Discussão 4.5. Conclusão	63 64 66 72
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	91
APÊNDICES	93

RESUMO

Técnicas de conservação pós-colheita para cenoura roxa recém-introduzida no Brasil

O cultivo da cenoura (Daucus carota L.) se dá em diversas regiões do mundo, com produção anual ultrapassando 35 milhões de toneladas. Cenouras roxas foram recentemente introduzidas no Brasil e tem disponibilidade restrita, devido ao plantio ainda em fase de expansão. Dessa forma, essa hortaliça é novidade tanto para consumidores quanto para produtores. As práticas pós-colheita ainda são pouco estudadas e requerem mais conhecimento para viabilizar o armazenamento e ter um produto com qualidade físico-química e nutricional. Assim, o objetivo do presente trabalho foi estudar diferentes tecnologias pós-colheita para cenoura roxa recém-introduzidas no Brasil. Primeiramente, foram estudadas diferentes condições de armazenamento e suas implicações na qualidade de cenouras roxas. Os resultados mostraram que as perdas estão diretamente relacionadas ao aumento da temperatura de armazenamento, ou seja, quanto maior a temperatura, maiores são as perdas qualitativas e quantitativas. A condição ambiente (25°C e 70% UR) proporciona aumentos dos processos metabólicos, provocando maiores perdas, na aparência e nos compostos bioativos presentes. Cenouras mantidas a 2°C apresentaram vida útil de 60 dias e mantiveram a qualidade físicoquímica e nutricional, com menores perdas dos compostos fenólicos e polifenóis e aumento de antocianinas, flavonóis e da capacidade antioxidante, sendo essa a temperatura mais indicada para o armazenamento de cenouras roxas. Após definida a temperatura de armazenamento, cenouras foram armazenadas em diferentes atmosferas modificadas geradas por diferentes embalagens de forma a identificar a que resulte em manutenção da qualidade de cenouras roxa no armazenamento. O uso de atmosfera modificada em cenouras roxas inibiu perdas por murchamento e resultou em maior manutenção da aparência e dos aspectos bioquímicos, além de prolongar a vida útil. Em cenouras não embaladas foi verificado alto índice de murchamento e de perda de massa, com durabilidade de apenas 15 dias, e menores concentrações de compostos bioativos. Concentrações de O_2 entre 11% e 12% e de CO_2 a 0,5% são indicadas para o armazenamento prolongado de cenouras roxas em embalagens de atmosfera modificada. Em seguida, foi avaliado o uso de diferentes concentrações de revestimentos a base de quitosana e cera de carnaúba, na conservação de cenouras roxas. O uso de recobrimentos comestíveis em cenoura roxa se mostrou eficiente como técnica pós-colheita para preservação da qualidade comercial. Recobrimento a base de quitosana a 3%, aliada a alta umidade relativa e a baixa temperatura durante o armazenamento, é mais eficiente na manutenção da qualidade de cenouras roxas e proporciona aumento da vida útil em 15 dias, em relação ao controle. Os resultados evidenciam a importância de conhecer a fisiologia pós-colheita e de aplicar as boas práticas, principalmente aquelas vinculadas à redução do metabolismo vegetal, como as tecnologias estudadas. Tais resultados poderão ser prontamente aplicados pelos produtores, a fim de prolongar a vida útil dessa hortalica recém-chegada ao mercado brasileiro.

Palavras-chave: Daucus carota L.; Refrigeração; Atmosfera modificada; Recobrimentos comestíveis; Compostos bioativos

ABSTRACT

Postharvest conservation techniques for purple carrot newly introduced in Brazil

The cultivation of carrots (Daucus carota L.) occurs in several regions of the world, with annual production exceeding 35 million tons. Purple carrots have recently been introduced in Brazil and have restricted availability due to planting still in expansion. Thus, this vegetable is new for consumers and producers. Postharvest practices are still poorly studied and require more knowledge to enable storage and have a product with physical-chemical and nutritional quality. In this way, the objective of the present work was to study different postharvest technologies for carrot newly introduced in Brazil. First, different storage conditions and their implications on the quality of purple carrots were investigated. The data showed that the losses are directly related to the increase of the storage temperature, that is, the higher temperature induce greater qualitative and quantitative losses. Ambient conditions (25°C and 70% RH) provide increases in metabolic processes, causing greater losses in appearance and bioactive compounds present. Carrots storage at 2°C, besides having a longer shelf life (60 days), maintained the physicalchemical and nutritional quality, with lower losses of phenolic compounds and polyphenols and increase of anthocyanins, flavonols and antioxidant capacity. That way, this is the best temperature for storage of purple carrots. With the storage temperature defined, it was aimed to study different modified atmospheres packaging (MAP) and to identify the one that results in greater maintenance of quality of purple carrots in storage. The MAP in purple carrots inhibited wilting losses and resulted in greater maintenance of appearance and biochemical aspects, as well as prolonged shelf life. In unpackaged carrots, a high wilting index and a loss of fresh weight were observed, with a durability of only 15 days, and lower concentrations of bioactive compounds. Concentrations of O₂ between 11% and 12% and CO₂ at 0.5% are indicated for the prolonged storage of purple carrots in MAP. Then, the use of different concentrations of chitosan and carnauba wax coatings in the conservation of purple carrots was evaluated. The use of edible coatings in purple carrots is a efficient postharvest technique for the preservation of commercial quality. The coating of 3% chitosan, combined with high relative humidity and low temperature during storage, is more efficient to maintain the quality of purple carrots and increases shelf life by 15 days compared to uncoating carrots. The results showed the importance of knowing postharvest physiology and applying good practices, especially those related to the reduction of plant metabolism, such as the technologies studied. The results could be readily applied by the producers, for extending the shelf life of the newly introduced vegetable to the Brazilian market.

Keywords: Daucus carota L.; Refrigeration; Modified atmosphere packaging; Edible coating; Bioactive compounds

1. INTRODUÇÃO

A cenoura (*Daucus carota* L.) é classificada como Apiacea, sendo a hortaliça mais importante dessa família (Sobrino-Illescas e Sobrino-Vesperinas, 1994; Davis e Raid, 2002; Vieira, 2008). Botanicamente, essa hortaliça é classificada como raíz, com formato, tamanho e coloração dependentes da variedade (Sobrino-Illescas e Sobrino-Vesperinas, 1994).

A origem da cenoura provavelmente se deu no Afeganistão, sendo este também seu centro de diversidade genética (Sobrino-Illescas e Sobrino-Vesperinas, 1994; IPGRI, 1998; Davis e Raid, 2002). A Ásia e o oeste do Mediterrâneo são considerados os centros secundários de diversidade genética, de hibridização natural e domesticação (IPGRI, 1998; Davis e Raid, 2002; Iorizzo *et al.*, 2013).

As cenouras primitivas possuíam coloração roxa, devido à presença de antocianinas, e eram muito apreciadas. Em decorrência de mutações, surgiram as cenouras amarelas, com alto conteúdo de xantofilas, que ganharam popularidade (Sobrino-Illescas e Sobrino-Vesperinas, 1994; IPGRI, 1998; Davis e Raid, 2002). As cenouras alaranjadas, ricas em carotenoides, surgiram de cenouras amarelas, fruto de domesticação secundária, possivelmente no norte da Europa, mais precisamente na Holanda, provavelmente no século XVII (Sobrino-Illescas e Sobrino-Vesperinas, 1994; Davis e Raid, 2002; Iorizzo *et al.*, 2013), contudo, há relatos de seu cultivo antes do século XVI (Iorizzo *et al.*, 2013). O baixo período de armazenamento e qualidade inferior das cenouras roxas pode ter incentivado a mudança para outras variedades (IPGRI, 1998).

O cultivo de cenouras coloridas é reduzido e encontrado predominantemente nas regiões rurais da Ásia Central e Estados Unidos, sendo usado para uso industrial, na fabricação de sopas ou comidas coloridas (IPGRI, 1998; Davis e Raid, 2002). No Brasil, as cenouras coloridas foram introduzidas em 2014, após estudos de adaptação climática por empresas de sementes e, até o momento, cenouras roxas, amarelas, vermelhas, brancas e variações estão prontas para o plantio. Essas variedades podem ser cultivadas em todo o território nacional, levando em consideração as condições edafoclimáticas adequadas. Atualmente, a finalidade dessas cultivares coloridas é para fabricação de cenouras minimamente processadas e para a composição de pratos requintados, sendo consideradas produtos *qourmet*.

O cultivo da cenoura laranja é recorrente em diversas regiões do mundo. Segundo dados da Food Agriculture Organization (FAO, 2016), a produção mundial de cenoura e nabo é superior a 42 milhões de toneladas, ocupando uma área de aproximadamente 1,2 milhão de hectares, com crescimento de 14,5% nos últimos cinco anos. A China é o principal produtor com 45% do total produzido, seguido da Rússia com 5% e dos Estados Unidos com 4%.

O Brasil não consta nos dados coletados da FAO, entretanto, a cenoura laranja é muito importante para a economia nacional, sendo a 4ª hortaliça mais produzida no país, superada apenas pelo tomate, batata e cebola (Carvalho e Vieira, 2012). A produção nacional de cenoura é estimada em 757 mil toneladas, distribuída numa área de 26 mil hectares (Vilela, 2010). Além da importância econômica, o consumo domiciliar de cenoura é de 1,55 kg hab-1 ano-1, sendo a sexta hortaliça mais consumida no Brasil, representando 5,4% do total produzido no país (Pesquisa de Orçamento Familiar - POF, 2008).

Mesmo com produção elevada, a disponibilidade de cenoura para o consumidor é restringida pelas perdas pós-colheita. Segundo dados da FAO (2011), as perdas na produção de frutas e hortaliças na América Latina é superior a 50%, e as etapas de pós-colheita e processamento são responsáveis por mais de 20% desse total. O descarte de cenoura logo após a colheita é decorrente de defeitos físicos ou estéticos (FAO, 2011). Durante a comercialização, danos mecânicos, desordens fisiológicas, incidência de patógenos, defeitos no formato, murchamento e brotamento são as principais causas do descarte (Lana *et al.*, 2002; Almeida *et al.*, 2012). Para evitar tal cenário é preciso adotar medidas de controle ainda dentro das propriedades produtoras, utilizando técnicas pós-colheita adequadas, programas de conscientização, melhoria das instalações de armazenamento e cadeia de frio (Chitarra e Chitarra, 2005).

As primeiras tecnologias empregadas visando a conservação de produtos *in natura* são a aplicação de temperaturas reduzidas e o uso de embalagens, ambas de fácil utilização. Entretanto, outras técnicas também são estudadas, como o uso de recobrimento comestível e de bloqueadores da ação do etileno. Essas tecnologias auxiliam a conservação dos vegetais, uma vez que contribuem para a redução do metabolismo, da incidência de patógenos, murchamento, quebra e mudanças na coloração (Kader, 2002; Chitarra e Chitarra, 2005).

Devido ao recém ingresso da cenoura roxa no mercado brasileiro, ou seja, uma variedade nova sem estudos, é importante conhecer seu desempenho durante a etapa póscolheita, juntamente com as tecnologias aplicadas antes da comercialização. Os conhecimentos gerados auxiliarão na manutenção da qualidade de cenoura roxa, o que possibilitará oferecer produtos em boas condições aos futuros consumidores, reduzindo as possíveis perdas. Da mesma forma, para determinar os melhores métodos de conservação, é necessário avaliar e estabelecer suas características intrínsecas. Essa caracterização auxiliará na identificação dos atributos de qualidade da cenoura, além de caracterizar seus nutrientes e componentes biologicamente ativos.

Dessa forma, será gerado importante conhecimento sobre esta peculiar cultivar, recentemente implantada no Brasil, bem como contribuir com o cenário internacional, no qual há poucos estudos sobre o uso de tecnologias pós-colheitas empregadas às cenouras.

Com base no exposto anteriormente, o objetivo geral deste trabalho foi avaliar analisar técnicas de conservação pós-colheita para cenoura roxa recém-introduzidas no Brasil, e verificar seu impacto sobre a fisiologia e bioquímica da hortaliça, a fim de prolongar a vida útil com a menor interferência possível nos seus atributos de qualidade.

Referências

ALMEIDA, E. I. B. et al. Levantamento de perdas em hortaliças frescas na rede varejista de Areia (PB). **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS),** v. 2, n. 1, p. 52, 2012.

CARVALHO, A. D. F.; VIEIRA, J. V. **Cultivares de cenoura com características de qualidade para a produção de Baby Carrots**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 52. Salvador: Associação Brasileira de Hortaliças 2012.

CHITARRA, M. F. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. revisada e ampliada**. 2 rev. e ampl. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 785p.

DAVIS, R. M.; RAID, R. N. **Compendium of umbelliferous crop diseases**. Saint Paul: American Phytopathological Society (APS Press), 2002. 75p.

FAO, Food and Agriculture Organization. **Global food losses and food waste**. Rome: FAO, 2011. 29p.

FAO, Food and Agriculture Organization. **FAOSTAT Database on Agriculture**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organization of the United Nations 2016.

IORIZZO, M. et al. Genetic structure and domestication of carrot (*Daucus carota* subsp. sativus)(Apiaceae). **American journal of botany,** v. 100, n. 5, p. 930-938, 2013.

IPGRI, International Plant Genetic Resources Institute. **Descriptors for Wild and Cultivated Carrots** (*Daucus carota* L.). Roma, Italy: Bioversity International, 1998. 65p.

KADER, A. A. Postharvest technology for horticultural crops. UCANR Publications, 2002. 535p.

LANA, M. M. et al. Identificação das causas de perdas pós-colheita de cenoura no varejo, Brasília-DF. **Horticultura Brasileira,** v. 20, p. 241-245, 2002.

POF, Pesquisa de Orçamentos Familiares. Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF) 2008–2009: Despesas, rendimentos e condições de vida. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2008.

SOBRINO-ILLESCAS, E.; SOBRINO-VESPERINAS, E. **Tratado de Horticultura Herbácea. III Hortalizas hojas, de raíz y hongos**. Barcelona (Espana): Editora Aedos, 1994. 313 p.

VIEIRA, J. V. **Importância econômica**. Cenoura (*Daucus carota*). VIEIRA, J. V.; PESSOA, H. B. S. V., *et al.* Brasília: Embrapa Hortaliças. 5, 2008.

VILELA, N. J. **Produção de principais hortaliças no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças 2010.

2. BAIXA TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA ELEVADA REDUZEM SIGNIFICATIVAMENTE AS PERDAS EM CENOURAS ROXAS

Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar diferentes condições de armazenamento e suas implicações na qualidade de cenouras roxas, a fim de prolongar sua vida útil. Cenouras roxas foram armazenadas a 2, 8 e 14°C, sob 95-100% UR, e 25°C com 70% UR (condição ambiente, controle), durante 60 dias. Foram avaliados o índice de murchamento, perda de massa fresca, teor de sólidos solúveis, taxa respiratória, coloração (LCh), compostos fenólicos totais, antocianinas, flavonóis totais, capacidade antioxidante e perfil de polifenóis. Os resultados mostraram que a condição ambiente proporciona aumentos dos processos metabólicos, evidenciados pela elevada taxa respiratória, o que provocam maiores perdas, tanto na aparência (índice de murchamento e perda de massa fresca), quanto nos compostos bioativos (compostos fenólicos, antocianinas, flavonóis e perfil de polifenóis). As perdas são diretamente relacionadas ao aumento da temperatura de armazenamento, ou seja, quanto maior a temperatura, maiores são as perdas qualitativas e quantitativas. Cenouras mantidas a 2°C apresentaram vida útil de 60 dias e mantiveram a qualidade físico-química e nutricional, com menores perdas dos compostos fenólicos e polifenóis e aumento de antocianinas, flavonóis e da capacidade antioxidante, sendo essa a temperatura mais indicada para o armazenamento de cenouras roxas. Os resultados desse estudo evidenciam a importância de conhecer a fisiologia pós-colheita e de aplicar as boas práticas, principalmente aquelas vinculadas à redução do metabolismo vegetal, como o armazenamento em condições adequadas de temperatura e umidade relativa. Tais resultados poderão ser prontamente aplicados pelos produtores, a fim de armazenar a produção dessa hortaliça recém-chegada ao mercado brasileiro e que possui período de colheita reduzido.

Palavras-chave: Daucus carota L.; Refrigeração; Murchamento; Compostos bioativos; Qualidade

Abstract

Low temperature and high relative humidity reduce significantly losses in purple carrots

The objective of this work was to evaluate different storage conditions and their implications on the quality of purple carrots, for prolonging their shelf life. Purple carrots were stored at 2, 8, 14°C, 95-100% RH, and 25°C and 70% RH (ambient condition, used as control) for 60 days. Wilting index, fresh weight loss, soluble solids content, respiratory rate, color (LCh), total phenolic compounds, anthocyanins, total flavonoids, antioxidant capacity and polyphenols profile were evaluated. The results showed that the ambient condition provides the highest metabolism, evidenced by the higher respiratory rate, resulting to higher losses in appearance (wilting index and loss of fresh mass) and bioactive compounds (phenolic compounds, anthocyanins, flavonols, polyphenols). The losses are directly related to increase of storage conditions, that is, the higher the temperature the greater the qualitative and quantitative losses. Carrots stored at 2°C had the longest shelf life (60 days), maintained the physical-chemical and nutritional quality, with lower losses in phenolic compounds and polyphenols and increase of anthocyanins, flavonols and antioxidant capacity. Thus, this is the best temperature for storage of purple carrots. The results of this study show the importance of knowing postharvest physiology and applying good practices, especially those related to the reduction of plant metabolism, such as storage at adequate conditions. Our results can be readily applied by the producers, in order to store the

production of this vegetable just arrived at the Brazilian market and that has reduced harvesting period.

Keywords: Daucus carota L.; Refrigeration; Wilting; Bioactive compounds; Quality

2.1. Introdução

A cenoura é uma hortaliça largamente consumida e produzida em todo o mundo. Atualmente, produtores buscam diversificar a produção de cenouras com a introdução de variedade coloridas, a fim de alcançar novos consumidores e o mercado *gourmet*. No Brasil, cenouras roxas vêm sendo introduzidas, com essa finalidade, em cultivo de larga escala. Entretanto, conhece-se pouco sobre suas características pós-colheita e as implicações que as técnicas de conservação terão sobre a qualidade dessa hortaliça. Ademais, sua safra não é constante como a da cenoura laranja, que possui produção durante o ano todo. Devido ao mercado mais específico, precisa necessariamente ser armazenada para escalonar a comercialização.

A cenoura roxa é muito rica nutricionalmente: possui altas quantidades de compostos fenólicos, como as antocianinas e o ácido clorogênico, com elevada capacidade antioxidante, os quais atuam protegendo o organismo de doenças degenerativas, incluindo vários tipos de câncer, diabetes *mellitus*, estresse cardiovascular e oxidativo. Essa variedade tem sido amplamente estudada devido ao alto conteúdo desses compostos e os seus benefícios diretos na saúde, podendo ser matéria prima de indústrias alimentícias e farmacológicas (Arscott e Tanumihardjo, 2010; Akhtar *et al.*, 2017). Além disso, as cenouras roxas possuem doçura e crocância superior e menor sabor amargo que a variedade laranja (Alasalvar *et al.*, 2001; Surles *et al.*, 2004), fatores que podem embasar o aumento do seu consumo.

A qualidade da cenoura pode ser afetada pelo armazenamento inadequado e, em se tratando de cenouras roxas, a durabilidade pós-colheita pode ser menor que as de coloração alaranjada (Ipgri, 1998). Assim, são necessários estudos que apontem as melhores tecnologias a serem empregadas nesse produto, a fim de reduzir as perdas e prolongar a vida útil.

A temperatura de armazenamento é um fator determinante para a qualidade dos produtos hortícolas, devido a sua influência nos processos fisiológicos e bioquímicos, sendo

a refrigeração o primeiro recurso utilizado para prolongar a vida útil de um produto. Seu uso reduz a respiração, os processos metabólicos e, consequentemente, a senescência dos vegetais (Nilsson, 2000; Chitarra e Chitarra, 2005).

Por ser uma hortaliça de baixa atividade respiratória, a cenoura é considerada de baixa perecibilidade. Há indicações para que o armazenamento de cenoura laranja seja feito entre 0 e 4°C, com 93-100% UR, com durabilidade de 6 a 8 meses (Cantwell, 2002; Chitarra e Chitarra, 2005). Acredita-se que o armazenamento de cenouras de outras colorações também deva ser realizado nessas condições, entretanto, não há estudos com cenouras roxas que possam confirmar a durabilidade da qualidade físico-química e da manutenção dos compostos bioativos. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar diferentes condições de armazenamento e suas implicações na qualidade de cenouras roxas, buscando prolongar sua vida útil.

2.2. Material e métodos

2.2.1. Reagentes químicos

Folin-Ciocalteau, ácido acético, ABTS [(2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico)], Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico) e os reagentes e padrões utilizados em UPLC foram obtidos da Sigma-Aldrich (São Paulo, Brasil). Ácido gálico foi proveniente da Dinâmica Química Contemporânea Ltda (São Paulo, Brasil). Carbonato de sódio, metanol, etanol e ácido clorídrico foram obtidos da Labsynth (São Paulo, Brasil).

2.2.2. Material vegetal

Cenouras roxas 'Deep Purple' (Figura 1), produzidas no município de Araçoiaba da Serra, SP (23° 30' 19" S e 47° 36' 51" W, 625 m de altitude), foram colhidas, selecionadas, classificadas por tamanho e calibre (18 a 22 cm de comprimento) e acondicionadas em contentores plásticos, com 20 kg de capacidade. As cenouras foram armazenadas durante um dia a 1°C e 95% de UR, no produtor, sendo transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Pós-colheita no dia seguinte, onde passaram por uma nova seleção para a homogeneização do lote e separação dos tratamentos.



Figura 1. Cenouras roxas "Deep Purple". Foto: Natalia Dallocca Berno (2015).

2.2.3. Delineamento experimental

Cenouras roxas foram armazenadas em três temperaturas: 2, 8, 14°C, sob 95-100% UR, e comparadas àquelas submetidas à condição ambiente a 25°C e 70% UR (controle), durante 60 dias. As análises foram realizadas nos dias: 0 (caracterização do lote), 7, 15, 30, 45 e 60 de armazenamento. O delineamento experimental foi em esquema fatorial 4 x 6 (tratamentos x período de análises), com exceção do perfil de polifenóis, cujo esquema fatorial foi 4 x 3 (tratamentos x período de análises). Para as análises não destrutivas (perda de massa, coloração, notas de murchamento e taxa respiratória) foram utilizadas cinco repetições compostas por sete cenouras ou 500 g cada. Para as análises destrutivas (sólidos solúveis, compostos fenólicos, flavonóis totais, antocianinas, capacidade antioxidante e perfil de polifenóis) foram utilizadas três repetições compostas por sete cenouras (aproximadamente 500 g) cada.

2.2.4. Determinações

2.2.4.1. Avaliação da aparência e análises fisiológicas

O índice de murchamento foi realizado por meio de atribuição de notas visuais, avaliadas sempre pelo mesmo analista, com notas variando de 1 a 4, sendo 1 = raízes turgidas; 2 = raízes com leve sintoma de murchamento; 3 = raízes murchas; 4 = raízes extremamente murchas (Figura 2). O número de cenouras em cada nota foi transformado em porcentagem, sendo o resultado expresso em porcentagem de cenoura em cada nota. O período de vida útil das cenouras foi determinado por meio desta análise, atingindo ponto máximo de comercialização quando não houvesse mais cenouras classificadas com nota 1.



Figura 2. Escala de notas utilizadas no índice de murchamento. Notas: 1 = raízes turgidas; 2 = raízes com leve sintoma de murchamento; 3 = raízes murchas; 4 = raízes extremamente murchas. Foto: Natalia Dallocca Berno (2014).

Para a coloração foi utilizado o equipamento MINOLTA CHROMA METER CR-400, determinando-se os valores de Luminosidade (L*), cromaticidade (C) e ângulo de cor (°h) (Minolta, 1994). Foram realizadas três leituras na parte externa de cada cenoura com a periderme, sendo uma na parte superior, uma na parte mediana e outra na parte inferior, em uma mesma raiz.

A perda de massa fresca foi determinada por pesagem das raízes na caracterização e ao longo do armazenamento, sendo o resultado em relação à massa inicial e expressa em porcentagem de massa fresca perdida.

O teor de sólidos solúveis foi medido por meio da leitura direta em refratômetro digital de mesa, marca Atago, modelo Palete 101, utilizando suco extraído da raiz triturada em centrífuga doméstica. Os resultados foram expressos em % (AOAC, 2010).

Para a determinação da taxa respiratória, 6 a 7 cenouras foram colocadas em frascos herméticos de vidro com capacidade de 2,5 litros. Após decorrer 1 hora com os frascos fechados, foram retirados 0,5 mL de amostra de gás, com uma seringa de 1 mL, através de um septo de silicone colocado nas tampas dos frascos. Cada amostra coletada foi injetada em cromatógrafo a gás (marca Thermo Electron Corporation, modelo Trace GC Ultra) equipado com dois detectores de ionização de chama (FID), tendo hitrogênio como gás de arraste a um fluxo de 30 mL min⁻¹. As temperaturas utilizadas foram de 110°C na coluna, 140°C no injetor, 250°C no detector e 350°C no metanador. Os resultados foram calculados com base nas determinações cromatográficas, massa das cenouras e tempo que os frascos permaneceram fechados. Os resultados foram expressos em mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

2.2.4.2. Análises bioquímicas

Para as análises de compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante, foi realizado um extrato comum, preparado com 40 mg de amostra liofilizada de cenoura roxa e 10 mL de metanol 80% (v:v), seguido de armazenamento sob refrigeração e ao abrigo da luz por 24h, para a completa extração. Após esse período, houve centrifugação por 10 minutos a 3.622 x g e 4°C, separando-se o sobrenadante em frascos âmbar, seguido de armazenamento a -21°C até a quantificação.

Os compostos fenólicos totais foram determinados pelo método desenvolvido por Singleton e Rossi (1965), com modificações. Adicionou-se 200 μ L do extrato a 1,5 mL de água destilada em tubos de ensaio, seguido de 100 μ L de Folin-Ciocalteau P.A. e agitação em vórtex. Decorridos 5 minutos, foram adicionados 200 μ L de carbonato de sódio a 20% (v:v) nos tubos, os quais foram agitados e incubados por duas horas no escuro, em temperatura ambiente. A absorbância foi lida em espectrofotômetro, a 765 nm. O teor de fenólicos foi calculado utilizando-se curva padrão com ácido gálico (0-20 μ L) e os resultados expressos em mg AGE (ácido gálico equivalente) g⁻¹ matéria seca.

A capacidade antioxidante foi realizada pelo método ABTS [(2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico)], descrito por Re et al. (1999). Os resultados foram calculados por meio de curva padrão com Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico) (0-20 μM), sendo expressos em mM TE (Trolox equivalente) g⁻¹ matéria seca.

A quantificação de antocianinas e de flavonóis totais foi realizada conforme Lees e Francis (1972), com modificações na quantidade de amostra utilizada de 100 g para 500 mg de cenoura roxa liofilizada e 20 mL de solução extratora de etanol a 95% e HCl a 1,5 N (85:15 v/v). Ambas as quantificações foram expressas em mg g⁻¹ matéria seca.

2.2.4.3. Perfil de polifenóis

Para o perfil de polifenóis, as análises foram realizadas no dia 0 (início), após 7 dias e no último dia de armazenamento de cada tratamento (final), sendo 60º, 45º, 30º e 15º dia para as condições de 2°C, 8°C, 14°C e ambiente, respectivamente. Foi utilizada cromatografia líquida de ultra performance (UPLC) (Thermo Scientific™ UltiMate™ 3000 BioRS, EUA) com detector fotodiodo, em coluna C18 (2,2 um, 2,1 x 50 mm) (Acclaim™ RSLC 120, Thermo Scientific™, EUA) pelo método proposto por Natividade et al. (2013) com adaptações. Na extração foram pesados 200 mg de amostra liofilizada e extraídos com três lavagens com metanol acidificado (80 metanol : 1 ácido acético : 19 água; v:v:v), sendo a primeira com 3 mL e as duas seguintes com 2,5 mL. A primeira lavagem foi realizada com agitação durante 1 min, seguido de encubação em banho ultrassônico por uma hora. Nas lavagens seguintes os extratos foram agitados em vórtex por 1 min. Após, as amostras foram, centrifugadas por 10 minutos a 1233 x q a 4°C e o sobrenadante coletado. A cada ciclo de reextração da matriz, as coletas dos sobrenadantes foram unidas e posteriormente filtradas em PVDF poro de 0,45 μm, sendo armazenado em frascos âmbar. Para a quantificação, a fase móvel consistiu em (A) ácido fosfórico 0,85% e (B) acetonitrila 100%. O gradiente usado foi: 0-2,5 min, A 96%; 2,5-7,5 min, A 92%; 7,5-15 min, A 88%; 15-18 min, A 85%; 18-20 min, A 80%; 20-31 min, A 75%; 21-22 min, A 65%; 22-24 min, A 35%; 24-25 min, A 96%. A injeção por amostra foi de 20 μL e a temperatura da coluna foi mantida a 39°C, com fluxo de 0.8 mL min⁻¹. Foram utilizados os comprimentos de onda 280 nm, 320 nm e 360 nm, compreendendo os espectros de absorção para ácidos hidroxibenzóicos, hidroxicinâmicos e flavonoides, respectivamente. Os resultados foram expressos em μg g-1 matéria seca. Os padrões utilizados se encontram na tabela abaixo.

Tabela 1. Padrões de polifenóis, tempo de retenção e UV visível utilizados.

Composto	Nome científico	Tempo de retenção (min)	UV visível - absorção máxima (nm)
Acido Gálico	3,4,5-Trihydroxybenzoic acid	0,747	280
Catequina	trans-3-3'-4'-5-7-Pentahydroxy flavane	4,273	280
Acido Cafeico	3,4-Dihydroxybenzeneacrylic acid	4,290	320
Acido Clorogênico	3-(3,4-Dihydroxycinnamoyl) quinic acid	5,030	320
Acido p-cumárico	trans-4-Hydroxycinnamic acid	5,970	320
Acido trans-ferúlico	trans-4-Hydroxy-3-methoxycinnamic acid	7,917	320
Rutina	quercetin-3-rutinoside hydrate	13,710	360
Acido trans-cinamico	trans-3-Phenylacrilic acid	13,967	280
Quercetina	3,3',4',5,6-Pentahydroxyflavone	20,057	360

2.2.5. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey (P≥0,05), pelo software estatístico SAS, versão 9.2 (SAS Institute, Cary, NC, USA).

2.3. Resultados

2.3.1. Aparência e características fisiológicas são mantidas por mais tempo em temperaturas reduzidas

Para verificar a influência da condição e do tempo de armazenamento na fisiologia de cenouras roxas, foram observadas as principais mudanças nas suas características, avaliando aparência, como critério de comercialização e os aspetos fisiológicos, para verificar alterações metabólicas.

A aparência das cenouras foi alterada em função da temperatura utilizada e do tempo de armazenamento. Por meio do índice de murchamento observou-se que cenouras armazenadas à condição ambiente perdem a turgescência rapidamente. Após 7 dias de armazenamento nessa condição, 97% das cenouras apresentavam sintomas de murchamento (Figura 3). No 15º dia, 80% das cenouras foram classificadas como "extremamente murchas", ficando descaracterizadas e inviáveis para comercialização. Os demais tratamentos apresentaram cenouras túrgidas e semitúrgidas nesse mesmo período.

No 30º dia, as cenouras a 14°C apresentaram maior porcentagem de raízes túrgidas ou semitúrgidas que os demais tratamentos. Ainda no 30º dia, as cenouras dessa temperatura foram descartadas devido ao surgimento de raízes secundárias (brotamento), impossibilitando sua comercialização. Com o início da formação das brotações, as raízes ficaram mais rígidas, não aparentando a perda na turgescência. No 45º dia, as cenouras armazenadas a 8°C tiveram menor porcentagem de raízes murchas que o tratamento a 2°C. Contudo, isso foi devido ao início do brotamento das cenouras a 8°C, sendo, deste modo, descartadas. No 60º dia, o tratamento a 2°C não possuía mais cenouras túrgidas e 80% das raízes estavam murchas ou totalmente murchas, sendo este o último dia de avaliação.

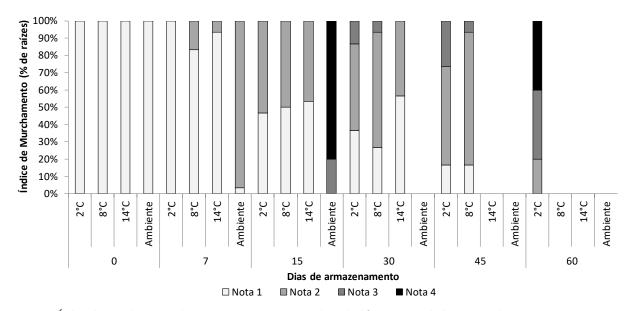


Figura 3. Índice de murchamento de cenouras roxas armazenadas sob diferentes condições por 60 dias. 2°C, 8°C e 14°C com 95-100% UR. Ambiente = 25°C, 70% UR (n=5). Notas: 1 = raízes turgidas; 2 = raízes com leve sintoma de murchamento; 3 = raízes murchas; 4 = raízes extremamente murchas.

A perda de massa fresca (PMF) comprova os resultados encontrados no índice de murchamento, ou seja, todos os tratamentos apresentaram aumento na PMF ao longo do armazenamento. O tratamento submetido às condições do ambiente exibiu perda acentuada, acumulando 30% de PMF ainda no 15º dia de armazenamento (Figura 4). O tratamento a 14°C exibiu a menor PMF, com 6% no 30º dia. Ainda, nas cenouras mantidas nessa temperatura verificou-se brotamento, o que reduziu a perda desde o 15º dia, período que se iniciou esse processo. Cenouras submetidas a 2°C tiveram a PMF retardada, sendo que ao final dos 60 dias de armazenamento, mostraram perdas de 16%, o mesmo valor

encontrado no 45º dia para cenouras armazenadas a 8°C, evidenciando que a menor temperatura interfere diretamente na transpiração de cenouras roxas.

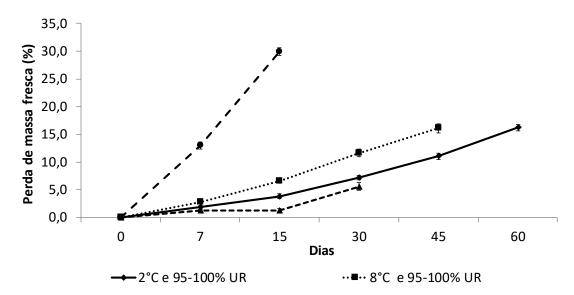


Figura 4. Perda de massa fresca de cenouras roxas armazenadas sob diferentes condições por 60 dias. Barras verticais representam o erro padrão da média (n=5).

A coloração das cenouras foi influenciada pelas diferentes condições de armazenamento utilizadas. Houve diminuição de luminosidade no decorrer dos dias para cenouras sob 2°C e 8°C, enquanto que 14°C resultou em leve aumento no final do período e cenouras em condição ambiente não exibiram variação nos valores (Figura 5a). A luminosidade das cenouras a 2°C e a 8°C foram menores que as encontradas para os outros tratamentos. No 45º dia, cenouras a 8°C tiveram maior luminosidade que as armazenadas a 2°C.

Houve aumento na cromaticidade durante o armazenamento, passando de 6,41, em média, para 8,22, em média, ao final do período (Figura 5b). Cenouras armazenadas a 2°C demonstraram maior saturação da cor que os demais tratamentos.

Para o ângulo de cor, cenouras a 2°C, 8°C e 14°C mantiveram a tonalidade constante ao longo do armazenamento, diferente das submetidas à condição ambiente, que apresentaram aumento durante os dias de análise (Figura 5c). Cenouras a 2°C exibiram as menores tonalidades frente aos demais tratamentos, com exceção do 45º dia, no qual esteve igual ao verificado nas cenouras a 8°C.

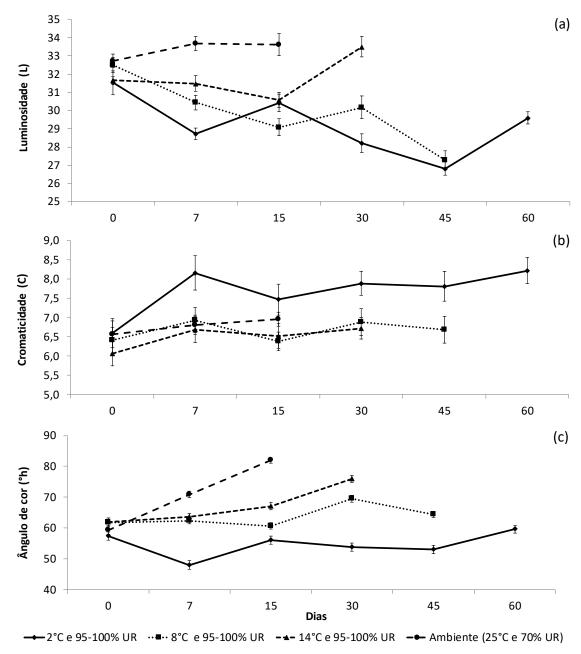


Figura 5. Coloração de cenouras roxas armazenadas sob diferentes condições por 60 dias. Barras verticais representam o erro padrão da média (n=5).

A taxa respiratória (TR) foi elevada no início do período de armazenamento (50 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), com redução de 77%, 72%, 66% e 54% após 7 dias de acondicionamento nas temperaturas de 2°C, 8°C, 14°C e ambiente, respectivamente (Figura 6a). Cenouras submetidas a 2°C e 8°C mantiveram a TR reduzida e muito próxima durante todos os períodos de análises, enquanto que a temperatura de 14°C resultou em cenoura com TR intermediária e as armazenadas em condição ambiente, mantiveram a maior TR frente a todos os tratamentos durante todo o período.

Os valores de sólidos solúveis aumentaram para as cenouras em condições ambiente ao longo dos dias (Figura 6b), sendo o maior teor exibido no 15º dia, com 13%, para as amostras armazenadas à temperatura ambiente. Os demais tratamentos não variaram ou diferiram entre si, mantendo os valores próximos aos iniciais durante todo o período de análise.

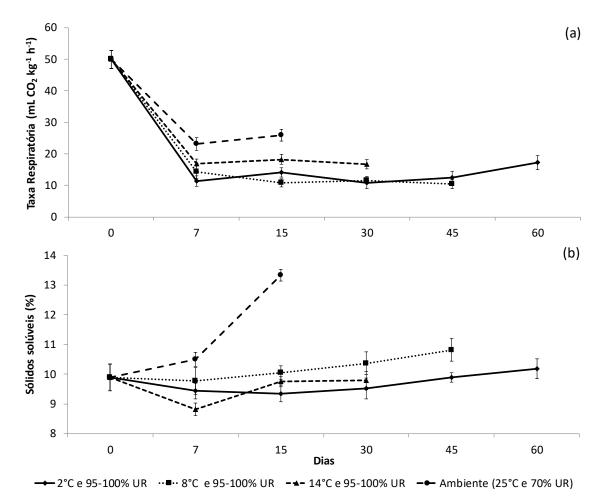


Figura 6. Taxa respiratória e teor de sólidos solúveis de cenouras roxas armazenadas sob diferentes condições por 60 dias. Barras verticais representam o erro padrão da média (Taxa respiratória: n=5; Sólidos solúveis: n=3).

2.3.1. Condição ambiente degrada compostos bioquímicos de interesse em cenouras roxas

Os compostos fenólicos totais, antocianinas e flavonóis, os quais são importantes em cenouras roxas pela elevada capacidade antioxidante que apresentam. O monitoramento desses compostos durante o armazenamento nas diferentes temperaturas

auxilia na avaliação da qualidade funcional do produto, além de revelar alterações diretas no metabolismo do vegetal.

Do total de compostos fenólicos presentes nas cenouras roxas, 44% representam as antocianinas e 13% representam os flavonóis. Foi verificado comportamento semelhante nos teores de compostos fenólicos totais e de flavonóis totais. Cenouras armazenadas em condição ambiente mostraram redução de 20% e 25%, para compostos fenólicos e flavonóis, respectivamente, aos 15 dias de armazenamento (Figura 7a e 7c). Nesse dia também apresentaram os menores valores frente aos demais tratamentos. Cenouras nas demais temperaturas evidenciaram manutenção dos componentes, com valores próximos durante os diferentes períodos de armazenamento.

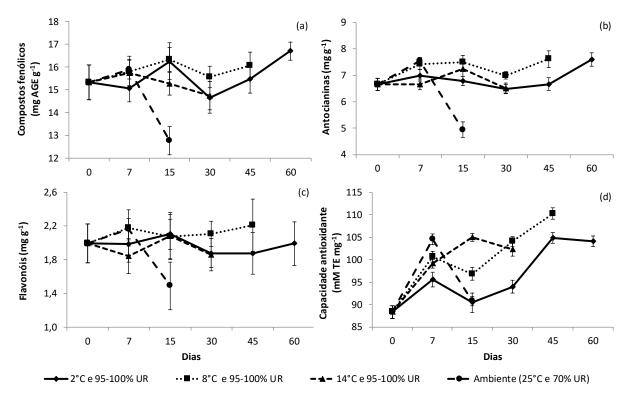


Figura 7. Compostos fenólicos totais (a), antocianinas (b), flavonóis (c) e capacidade antioxidante (d) de cenouras roxas armazenadas sob diferentes condições por 60 dias. Barras verticais representam o erro padrão da média (n=3). AGE = ácido gálico equivalente. TE = Trolox equivalente. Capacidade antioxidante por ABTS = [2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico].

A condição ambiente causou as maiores variações no conteúdo de antocianinas, gerando aumento de 13% após sete dias, seguido de diminuição acentuada no último dia, sendo esse o menor valor entre todos os tratamentos (Figura 7b). Houve aumento do teor de antocianinas com o decorrer dos dias para as cenouras armazenadas a 2°C e a 8°C,

acumulando ambas 14% a mais do pigmento no final do período. Cenouras a 14°C tiveram aumento no 15º dia, voltando aos patamares iniciais no 30º dia.

A capacidade antioxidante (CA) das cenouras aumentou ao longo dos dias nos tratamentos 2°C, 8°C e 14°C, enquanto que para as armazenadas a condição ambiente, houve aumento no 7º dia e redução no 15º dia, voltando aos níveis iniciais (Figura 7d). Esse valor apontado no 7º dia foi maior que os valores dos demais tratamentos. No 15º dia, cenouras a 14°C exibiram maior CA entre os tratamentos. Raízes a 2°C e 8°C não apresentaram diferença entre si durante o armazenamento. Observou-se que o comportamento de aumento da CA está associado com o comportamento de aumento das antocianinas durante o período de armazenamento.

2.3.2. Perfil de polifenóis de cenoura roxa

A avaliação do perfil dos polifenóis em cenouras roxas se fez interessante para acompanhar as mudanças mais intrínsecas desses compostos com o decorrer do tempo nas temperaturas utilizadas, a fim de conhecer ainda mais as características dessa cultivar de cenoura.

O total de polifenóis encontrado nas cenouras roxas foi de 8250,5 μ g g⁻¹, o que compreende 55% do total dos compostos fenólicos totais encontrados nas cenouras roxas (Tabela 2). O ácido clorogênico é o composto predominante, perfazendo 80% dos polifenóis, seguido pela catequina (10%) e pela rutina (4%). A quercetina, o ácido p-cumárico, o ácido cafeico e o ácido trans-cinâmico exibiram separadamente quantidades menores que 1% do total de polifenóis.

Tabela 2. Valores iniciais de compostos fenólicos totais, antocianinas e polifenóis de cenouras roxas e suas porcentagens em relação ao conteúdo total.

Componente	Quantidade	Relação conteúdo no total	Relação conteúdo no total
·	(µg g ⁻¹)	de polifenois (%)	de compostos fenólicos (%)
Compostos fenólicos totais	15031,1	-	-
Antocianinas	6668,0	-	44,36
Flavonois	1991,5	-	13,25
Polifenois totais *	8250,5	-	54,89
Ácido clorogênico	6631,5	80,38	44,12
Catequina	843,3	10,22	5,61
Rutina	337,3	4,09	2,24
Ácio gálico	158,7	1,92	1,06
Ácido trans-ferúlico	119,9	1,45	0,80
Quercetina	69,8	0,85	0,46
Ácido p-cumárico	60,7	0,74	0,40
Ácido cafeico	27,2	0,33	0,18
Ácido trans-cinâmico	2,2	0,03	0,01

^{*}Somatória dos polifenóis analisados.

O conteúdo de polifenóis foi influenciado pela condição e pelos dias de armazenamento. A condição ambiente resultou nas maiores reduções no total dos polifenóis (-50%), seguido pela temperatura de 14°C (-43%), 8°C (-23,3%) e 2°C (-23%).

Para o ácido clorogênico, rutina, ácido trans-ferúlico, quercetina, ácido *p*-cumárico, ácido cafeico e ácido trans-cinâmico, houve diminuição nos valores iniciais em relação aos encontrados no final do armazenamento (Figura 8). A condição ambiente ocasionou maior diminuição nos valores de ácido clorogênico, ácido *p*-cumárico e ácido cafeico, sendo que para este último, a quantidade foi muito reduzida, restando apenas 6% do total. Cenouras mantidas a 14°C apresentaram diminuição nos teores de ácido clorogênico, catequina, ácido *p*-cumárico, ácido cafeico e ácido trans-cinâmico. Cenouras submetidas a 2°C e 8°C obtiveram as menores reduções, com exceção para o ácido trans-cinâmico e quercetina, respectivamente. Dessa forma, cenouras nas temperaturas de 2 e 8°C exibiram conteúdo maior de polifenóis.

Catequina e ácido gálico tiveram seu conteúdo aumentado ao final do período. O aumento na catequina foi mais acentuado para as cenouras armazenadas a 2°C, 8°C e ambiente; cenouras a 14°C mostraram diminuição significativa no conteúdo (Figura 8). Para o ácido gálico, nas cenouras em temperaturas mais elevadas houve aumento significativo após sete dias de armazenamento. Porém, no final do período, cenouras mantidas no

ambiente apresentaram redução, enquanto que as demais permaneceram com teores elevados e próximos, acumulando de 46 a 50% mais ácido gálico.

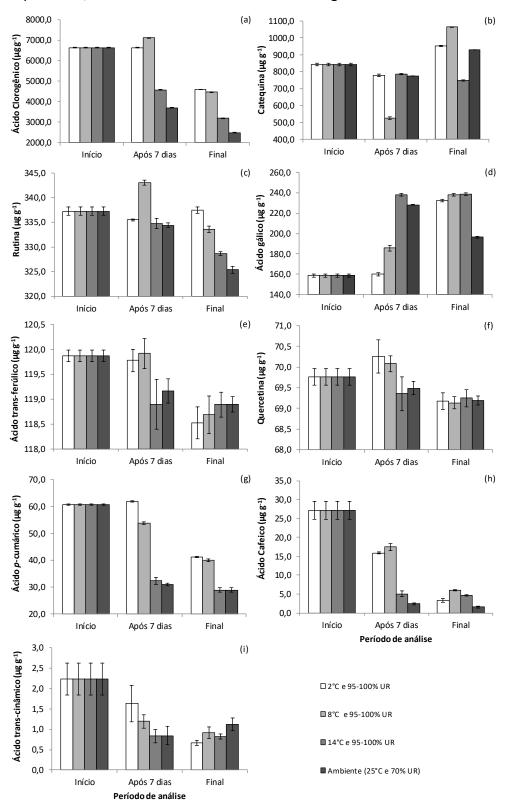


Figura 8. Perfil de polifenóis de cenouras roxas armazenadas sob diferentes condições por 60 dias. Barras verticais representam o erro padrão da média (n=3). Início = dia 0. Final = 60°, 45°, 30° e 15° dia para as temperaturas de 2°C, 8°C, 14°C e ambiente, respectivamente.

2.4. Discussão

Este trabalho foi proposto com o intuito de avaliar o efeito do armazenamento em diferentes temperaturas nos aspectos bioquímicos e nos atributos de qualidade da cenoura roxa, além de identificar as principais alterações resultantes de um armazenamento inadequado. Observou-se que temperaturas elevadas afetam os atributos de qualidade, principalmente os visuais, associados a menor vida útil. Alterações decorrentes do tempo de armazenamento também foram encontradas nesse trabalho.

A aparência das cenouras foi significativamente afetada quando submetidas às temperaturas elevadas (14°C e ambiente). Assim, houve perda de massa fresca de 30% em 15 dias e a supressão de cenouras túrgidas, quando não se utilizou controle da umidade relativa no ambiente. Por outro lado, mesmo em elevada umidade, houve desenvolvimento de raízes secundárias nas cenouras a 14°C, inviabilizando a comercialização. A perda de massa fresca ocorre principalmente por perda de água devido à transpiração da raiz, e também, em menor proporção, pela respiração do órgão (Chitarra e Chitarra, 2005), o que acarreta em murchamento da hortaliça e na redução de sua firmeza ao longo do armazenamento. Ao manter a umidade relativa alta, juntamente com temperaturas mais baixas (2 e 8°C), esses processos metabólicos reduziram consideravelmente. O armazenamento de cenouras a 98–100% UR combinada com baixa temperatura é necessário para preservar a qualidade sensorial, os compostos relacionados à saúde e aumentar a vida útil (Seljasen et al., 2013). Resultados semelhantes foram obtidos em cenoura laranja (Caron et al., 2003) e em mandioquinha salsa (García e Pacheco-Delahaye, 2007).

A diminuição da taxa respiratória por meio da redução da temperatura juntamente com a manutenção dos sólidos solúveis, nos tratamentos em temperatura refrigerada, evidencia a eficiência do uso de refrigeração na desaceleração do metabolismo das cenouras. Iqbal et al. (2009) também obtiveram uma taxa respiratória maior com o aumento da temperatura de armazenamento para cenouras laranjas.

A perda de massa fresca também está relacionada com o aumento de sólidos solúveis nas cenouras à condição ambiente, considerando que isso acarreta em maior concentração de sólidos ao diminuir a quantidade de solvente, no caso a água, a qual é perdida na transpiração (Chitarra e Chitarra, 2005). Outros trabalhos também observaram

estabilidade nos sólidos solúveis de cenouras laranja nos dois primeiros meses de armazenamento em temperaturas baixas (Svanberg *et al.*, 1997; Koca e Karadeniz, 2008).

As mudanças nos parâmetros de cor avaliados das cenouras roxas durante o armazenamento não estão, necessariamente, relacionadas com a perda de massa fresca. A diminuição da luminosidade, apesar de apresentar em diferença estatística, não representa uma mudança visível e pode estar muito mais relacionada à condensação de água na superfície da raiz, do que a diferença do brilho entre as amostras. Como a mensuração era realizada em temperatura ambiente, diferente da temperatura de armazenamento, é possível que tal fato tenha ocorrido. Isso pode ser confirmado quando se observa que os resultados das cenouras mantidas em condição ambiente não variaram a luminosidade. Entretanto, para ângulo de cor e cromaticidade, ambas podem estar relacionadas com a perda de massa fresca, uma vez que a variação da tonalidade da cor (ângulo hue) e da saturação da cor (cromaticidade) foi maior para aqueles que apresentaram maiores perdas de massa fresca. Koca e Karadeniz (2008) encontraram estabilidade na luminosidade, no ângulo de cor e na cromaticidade em cenouras laranja armazenadas a 0°C por 60 dias.

Verificou-se quantidades significativas de compostos fenólicos, antocianinas e flavonóis nas cenouras roxas estudadas, bem como uma alta capacidade antioxidante propiciada por estes compostos. Quando se compara os resultados aqui encontrados com cenouras de outra coloração e com outros produtos hortícolas, observou-se a abundância desses compostos em cenouras roxa, evidenciando a grande contribuição nutricional que essa variedade pode agregar à alimentação humana. Outros estudos comprovaram que cenouras de coloração roxa são mais ricas em compostos fenólicos que as de outras colorações (Alasalvar *et al.*, 2001; Nicolle *et al.*, 2004; Alasalvar *et al.*, 2005; Sun *et al.*, 2009; Singh *et al.*, 2012). Quanto à concentração de antocianinas, cenouras roxas possuem de 24 a 91% da quantidade encontrada em mirtilo de diferentes variedades (Ehlenfeldt e Prior, 2001), e valores de 1,4 a 3,9 vezes superiores que em morangos e framboesas (Calvete *et al.*, 2008; Tezotto-Uliana *et al.*, 2013). Cenouras roxas ainda possuem quantidades de flavonóis totais bem próximas as de cebolas (Caridi *et al.*, 2007; Berno *et al.*, 2014), as quais são consideradas fontes, principalmente de quercetina.

A condição ambiente afetou o conteúdo de compostos fenólicos e de flavonóis, devido ao alto metabolismo das cenouras nessa temperatura. O metabolismo acelerado gera o consumo de diversos compostos de importância na manutenção celular, como forma de

reparar os danos causados. O uso de refrigeração, por sua vez, restringe o metabolismo e, consequentemente, diminui as perdas desses componentes, gerando produtos de maior valor nutricional. Outros autores evidenciaram aumento nos compostos fenólicos ao longo do armazenamento refrigerado para cenouras laranjas (Alasalvar *et al.*, 2005) e para batatas roxas (Lewis *et al.*, 1999).

O aumento encontrado no teor de antocianinas em cenouras armazenadas em temperaturas mais baixas (2 e 8°C), é devido à ativação da biossíntese desse pigmento pelas baixas temperaturas de armazenamento. As antocianinas estão associadas à maior tolerância às temperaturas de resfriamento, minimizando os efeitos causados pelo estresse e auxiliando na adaptação do vegetal ao ambiente adverso (Gould e Lister, 2006). Estudos também relataram acréscimo de antocianinas em cebolas roxas minimamente processadas (Berno *et al.*, 2014), em alfaces roxas (Guassi, 2012) e em batatas roxas (Lewis *et al.*, 1999) armazenadas sob temperaturas reduzidas.

As cenouras mantidas em condição ambiente provavelmente tiveram seu teor de antocianinas e de flavonóis reduzidos no final do período pela utilização desses compostos no combate aos radicais livres gerados pelo metabolismo elevado, condizente com a taxa respiratória mais alta comparada aos demais tratamentos. Tais compostos possuem alta capacidade antioxidante, isto é, são moléculas que inibem o processo de oxidação de outras moléculas, principalmente em condições de metabolismo mais intenso (Gould e Lister, 2006; Bentz, 2009). Ao utilizar tais compostos como antioxidantes, os radicais livres são neutralizados e a estabilidade dentro das células é mantida por mais tempo, impedindo que tais radicais desencadeiem distúrbios nos processos metabólicos e favoreça o estresse oxidativo.

Devido ao elevado conteúdo de compostos fenólicos, de flavonóis e de antocianinas, a cenoura roxa possui alta capacidade antioxidante, sendo em muitos casos, superior a cenouras de outras colorações (Sun et al., 2009). O desempenho da capacidade antioxidante está intimamente ligado com as antocianinas, uma vez que ambas as análises apresentaram comportamento similar. A alta concentração de cianidinas provavelmente é a principal responsável pela capacidade antioxidante em cenouras roxas. O desempenho da capacidade antioxidante parece estar intimamente ligado com o conteúdo de antocianinas, uma vez que os resultados dessas duas análises apresentaram comportamento similar, aumentando a capacidade antioxidante quando há aumento também nas antocianinas. Isso ocorre devido à

grande presença de cianidinas em cenouras roxas (Stintzing et al., 2002; Sun et al., 2009; Gras et al., 2015). A cianidina possui maior capacidade de remoção de radicais livres que outras antocianinas, devido ao menor valor da entalpia de dissociação de ligação das hidroxilas livres na sua estrutura molecular (Guzman et al., 2009). Verificou-se também que a capacidade antioxidante está associada ao metabolismo das cenouras, uma vez que cenouras mantidas em condição ambiente possuem maior metabolismo e maior diminuição na capacidade antioxidante durante o período analisado. A manutenção da capacidade antioxidante em vegetais contribui para o aumento da vida útil, uma vez que auxilia na prevenção de perdas sensoriais e nutritivas. Diferente do encontrado neste estudo, outros autores verificaram redução na capacidade antioxidante de cenouras roxa armazenadas sob refrigeração (Alasalvar et al., 2005; Koca e Karadeniz, 2008).

Raros são os trabalhos que apontam o comportamento dos polifenóis em cenouras no decorrer do armazenamento, sendo possível apenas encontrar informações pontuais, como caracterização de variedades e alterações no conteúdo em cenouras minimamente processadas. O maior conteúdo de ácido clorogênico foi evidenciado por outros autores em diversas variedades de cenouras roxas, sendo esse o principal polifenol encontrado (Alasalvar et al., 2001; Kammerer et al., 2004; Mizgier et al., 2016). Também, cenouras roxas possuem maior teor de polifenóis que cenouras de outras cores (Alasalvar et al., 2001; Sun et al., 2009). Muitos dos polifenóis encontrados nesse trabalho foram identificados em outras variedades de cenouras (Alasalvar et al., 2001; Kammerer et al., 2004; Mizgier et al., 2016). Entretanto, catequina, rutina, ácido gálico, quercetina e ácido trans-cinâmico ainda não tinham sido identificados em cenouras roxas.

A redução dos polifenóis foi mais intensa nas temperaturas elevadas, sendo decorrente do maior metabolismo encontrado nas cenouras armazenadas sob essas condições. Tais compostos são resultantes do metabolismo secundário e auxiliam a célula a combater os radicais livres formados, reagindo com eles a fim de reduzir os danos que estes possam causar no desempenho celular (Gould e Lister, 2006; Bentz, 2009).

2.5. Conclusão

De acordo com os resultados obtidos é possível afirmar que a condição de 2°C e 95-100% de UR é a mais efetiva na manutenção da qualidade de cenouras roxas, proporcionando uma vida útil de 60 dias. Além disso, nessa temperatura, as cenouras tiveram seus processos metabólicos retardados e, consequentemente, os compostos bioativos foram preservados por mais tempo. Essa é, portanto, a temperatura de armazenamento mais indicada para a conservação de cenouras roxas. Os resultados desse estudo evidenciam a importância de conhecer a fisiologia pós-colheita e aplicar as boas práticas, principalmente as vinculadas à desaceleração do metabolismo vegetal, como o armazenamento em temperaturas adequadas. Tais resultados poderão ser prontamente aplicados pelos produtores, a fim de armazenar a produção dessa hortaliça recém-chegada ao mercado brasileiro e que possui período de colheita reduzido.

Referências

AKHTAR, S. et al. Black carrot (*Daucus carota* L.), dietary and health promoting perspectives of its polyphenols: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 66, p. 36-47, 2017.

ALASALVAR, C. et al. Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. **Food Chemistry**, v. 89, n. 1, p. 69-76, 2005.

_____. Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** v. 49, n. 3, p. 1410-1416, Mar 2001. ISSN 0021-8561.

AOAC, Association of Official Agricultural Chemists. **The Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18th. **Washington**: AOAC International, 2010. 2500 p.

ARSCOTT, S. A.; TANUMIHARDJO, S. A. Carrots of Many Colors Provide Basic Nutrition and Bioavailable Phytochemicals Acting as a Functional Food. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety,** v. 9, n. 2, p. 223-239, 2010.

BENTZ, A. B. A review of quercetin: chemistry, antioxidant properties, and bioavailability. **The Journal of Young Investigators: Appalachian State University**, 2009. Disponível em: < https://www.jyi.org/2009-april/2017/10/15/a-review-of-quercetin-chemistry-antioxidant-properties-and-bioavailability >. Acesso em: 05 ago 2018.

BERNO, N. D. et al. Storage temperature and type of cut affect the biochemical and physiological characteristics of fresh-cut purple onions. **Postharvest Biology and Technology,** v. 93, n. 0, p. 91-96, 2014.

CALVETE, E. O. et al. Fenologia, produção e teor de antocianinas de cultivares de morangueiro em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Fruticultura,** v. 30, p. 396-401, 2008.

CANTWELL, M. I. Resumen de las condiciones recomendadas para el manejo de frutas y hortalizas frescas. In: KADER, A. A. (Ed.). **Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas** 3. Davis, CA: University of California, 2002. cap. Apéndice, p. 571-580.

CARIDI, D. et al. Profiling and quantifying quercetin glucosides in onion (*Allium cepa* L.) varieties using capillary zone electrophoresis and high performance liquid chromatography. **Food Chemistry**, v. 105, n. 2, p. 691-699, 2007.

CARON, V. C.; JACOMINO, A. P.; KLUGE, R. A. Conservação de cenouras 'Brasília' tratadas com cera. **Horticultura Brasileira,** v. 21, n. 4, p. 597-600, 2003.

CHITARRA, M. F. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. revisada e ampliada**. 2 rev. e ampl. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 785 p.

EHLENFELDT, M. K.; PRIOR, R. L. Oxygen radical absorbance capacity (ORAC) and phenolic and anthocyanin concentrations in fruit and leaf tissues of highbus blueberry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 49, n. 5, p. 2222-2227, 2001.

GARCÍA, A.; PACHECO-DELAHAYE, E. Efecto de la temperatura sobre la calidad postcosecha del apio criollo. **Agronomía Tropical,** v. 57, p. 323-330, 2007.

GOULD, K. S.; LISTER, C. Flavonoid functions in plants. In: ANDRESEN, Ø. M. e MARKHAM, K. R. (Ed.). **Flavonoids: chemistry, biochemistry and aplications**. Florida: CRC Press / Taylor & Francis Group, 2006. cap. 8, p.397-441.

GRAS, C. C.; CARLE, R.; SCHWEIGGERT, R. M. Determination of anthocyanins from black carrots by UHPLC-PDA after ultrasound-assisted extraction. **Journal of Food Composition and Analysis,** v. 44, p. 170-177, 2015.

GUASSI, S. A. D. **Pós-colheita e potencial antioxidante de alfaces 'Piraroxa' e 'Vanda'**. 2012. 83 p. (Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos)). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

GUZMAN, R.; SANTIAGO, C.; SANCHEZ, M. A density functional study of antioxidant properties on anthocyanidins. **Journal of Molecular Structure**, v. 935, n. 1-3, p. 110-114, 2009.

IPGRI, International Plant Genetic Resources Institute. **Descriptors for Wild and Cultivated Carrots:** (*Daucus carota* L.). Roma, Italy: Bioversity International, 1998. 65 p.

IQBAL, T. et al. Mathematical modeling of the influence of temperature and gas composition on the respiration rate of shredded carrots. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 2, p. 325-332, 2009.

KAMMERER, D.; CARLE, R.; SCHIEBER, A. Characterization of phenolic acids in black carrots (*Daucus carota* ssp sativus var. atrorubens Alef.) by high-performance liquid chromatography/electrospray ionization mass spectrometry. **Rapid Communications in Mass Spectrometry**, v. 18, n. 12, p. 1331-1340, 2004.

KOCA, N.; KARADENIZ, F. Changes of bioactive compounds and anti-oxidant activity during cold storage of carrots. **International Journal of Food Science and Technology,** v. 43, n. 11, p. 2019-2025, 2008.

LEES, D. H.; FRANCIS, F. J. Standardization of pigment analyses in cranberries. **HortScience**, v. 7, n. 1, p. 83-84, 1972.

LEWIS, C. E.; WALKER, J. R. L.; LANCASTER, J. E. Changes in anthocyanin, flavonoid and phenolic acid concentrations during development and storage of coloured potato (*Solanum tuberosum* L) tubers. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** v. 79, n. 2, p. 311-316, 1999.

MINOLTA, C. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. Osaka, Japan: Minolta Corporation Instrument Systems Division, 1994. 49 p.

MIZGIER, P. et al. Characterization of phenolic compounds and antioxidant and anti-inflammatory properties of red cabbage and purple carrot extracts. **Journal of Functional Foods**, v. 21, p. 133-146, 2016.

NATIVIDADE, M. M. P. et al. Simultaneous analysis of 25 phenolic compounds in grape juice for HPLC: Method validation and characterization of São Francisco Valley samples. **Microchemical Journal,** v. 110, p. 665-674, 2013.

NICOLLE, C. et al. Genetic variability influences carotenoid, vitamin, phenolic, and mineral content in white, yellow, purple, orange, and dark-orange carrot cultivars. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 129, n. 4, p. 523-529, 2004.

NILSSON, T. Postharvest handling and storage of vegetables. In: SHEWFELT, R. L. e BRÜCKNER, B. (Ed.). **Fruit and vegetable quality: an integrated view**. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC, 2000. cap. 6, p.96-122.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9–10, p. 1231-1237, 1999.

SELJASEN, R. et al. Quality of carrots as affected by pre- and postharvest factors and processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** v. 93, n. 11, p. 2611-2626, 2013.

SINGH, D. P. et al. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*). **Food Chemistry**, v. 132, n. 3, p. 1161-1170, 2012.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

STINTZING, F. C. et al. Color and Antioxidant Properties of Cyanidin-Based Anthocyanin Pigments. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** v. 50, n. 21, p. 6172-6181, 2002.

SUN, T.; SIMON, P. W.; TANUMIHARDJO, S. A. Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of biofortified carrots (*Daucus carota* L.) of various colors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 10, p. 4142-4147, 2009.

SURLES, R. L. et al. Carotenoid profiles and consumer sensory evaluation of specialty carrots (*Daucus carota*, L.) of various colors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 11, p. 3417-3421, 2004.

SVANBERG, S. J. M. et al. Effects of boiling and storage on dietary fibre and digestible carbohydrates in various cultivars of carrots. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** v. 73, n. 2, p. 245-254, 1997.

TEZOTTO-ULIANA, J. V. et al. Gamma radiation: An efficient technology to conserve the quality of fresh raspberries. **Scientia Horticulturae**, v. 164, p. 348-352, 2013.

3. ATMOSFERA MODIFICADA PROLONGA A QUALIDADE COMERCIAL E NUTRICIONAL DE CENOURA ROXA

Resumo

O objetivo foi avaliar atmosferas modificadas geradas por diferentes embalagens e identificar a que resulte em maior manutenção da qualidade de cenouras roxas durante o período de armazenamento com UR abaixo da ideal. Cenouras roxas 'Deep Purple', foram submetidas a quatro diferentes embalagens: 1) Controle, bandeja de poliestireno expandido com rede extrusada de polietileno (embalagem aberta); 2) CPL, copolímeros laminados (Xtend®, código 815-LE47); 3) PEBD, Polietileno de baixa densidade (espessura de 60 μm); 4) P-PEBD, Polietileno de baixa densidade (espessura de 60 μm) perfurada no centro de cada face (340μm de diâmetro). O armazenamento foi realizado a 2°C e 80-85% UR, durante 120 dias, com análises no dia da montagem (dia 0) e a cada 15 dias. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 9 (tratamentos x período de análises). Foram utilizadas três repetições por tratamento para as análises de cor, sólidos solúveis, compostos fenólicos totais, antocianinas, flavonóis totais, capacidade antioxidante, polifenóis, e quatro repetições para perda de massa, concentração gasosa (O2 e CO2), taxa respiratória e análises visuais (índice de murchamento, índice de brotamento e índice de podridão). O uso de atmosfera modificada em cenouras roxas inibiu perdas por murchamento e resultou em manutenção da aparência e dos aspectos bioquímicos, além de prolongar a vida útil. A embalagem CPL proporcionou uma atmosfera modificada com 12,4% de O₂ e 1,0% de CO₂, a PEBD com 0,7% de O₂ e 1,1% de CO₂ e a P-PEBD com 11,4% de O₂ e 0,5% de CO₂, em média. Em cenouras controle foi verificado alto índice de murchamento e de perda de massa, com durabilidade de apenas 15 dias, e menores concentrações de compostos bioativos. Cenouras em CPL mantiveram boa aparência perdurando até 120 dias, mas a taxa respiratória maior contribuiu para as menores concentrações de compostos bioativos. PEBD causou esgotamento do O2 e aumento em CO2, favorecendo a podridão, o aumento da taxa respiratória e perda de componentes bioativos. P-PEBD atingiu 120 dias de armazenamento, com boa aparência, mas com intensificação de brotamento ao final, taxa respiratória reduzida e maior conteúdo dos compostos bioativos, bem como maior capacidade antioxidante. A atmosfera modificada gerada pelas embalagens CPL e P-PEBD proporcionou maior manutenção dos aspectos visuais da cenoura roxa, ampliando a vida útil até 120 dias. A atmosfera proporcionada pela P-PEBD resultou em maior manutenção dos compostos bioativos encontrados na cenoura roxa. Dessa forma, concentrações de O2 entre 11% e 12% e de CO₂ a 0,5% são indicadas para o armazenamento prolongado de cenouras roxas em embalagens de atmosfera modificada.

Palavras-chave: Daucus carota L.; Composição gasosa; Qualidade; Compostos bioativos

Abstract

MAP extends commercial quality of purple carrot

The objective was to evaluate different atmospheres generated by different packages and to identify the one that results in greater maintenance of the quality of purple carrots in the storage with RH below of the ideal. Carrots 'Deep Purple' were submitted to four different packages: 1) Control, expanded polystyrene and extruded polyethylene net (open packaging); 2) CPL, laminated copolymers (Xtend®, code 815-LE47); 3) LDPE, Low density polyethylene (thickness 60 µm); 4) P-LDPE, Low density polyethylene (thickness 60 µm) perforated in the

center of each side (340µm in diameter). Storage was carried out at 2°C and 80-85% RH for 120 days, with analysis on day of installation (day 0) and every 15 days. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme 4 x 9 (treatments x days of analysis). Three replicates per treatment were used for color, soluble solids, total phenolic compounds, anthocyanins, total flavonols, antioxidant capacity, polyphenols, and four replicates for fresh weight loss, gas concentration (O2 and CO2), respiratory rate and visual analysis (wilting index, budding index and rot index). The use of modified atmosphere in purple carrots inhibited fresh weight losses and resulted in greater maintenance of appearance and biochemical aspects, as well as prolonged shelf life. The CPL package provided a modified atmosphere with 12.4% O₂ and 1.0% CO $_2$, LDPE with 0.7% O $_2$ and 1.1% CO $_2$, and P-LDPE with 11.4% O $_2$ and 0.5% CO $_2$, on average. In control carrots was verified high wilting index and fresh weight loss, with durability of only 15 days, and lower concentrations of bioactive compounds. Carrots in CPL maintained good appearance lasting up to 120 days, but the higher respiratory rate contributed to the lower concentrations of bioactive compounds. LDPE caused O₂ depletion and increased CO₂, favoring rot, increased respiratory rate and loss of bioactive components. P-LDPE reached 120 days of storage, with good appearance, but with intensification of budding at the end, reduced respiratory rate and higher content of bioactive compounds, as well as higher antioxidant capacity. The modified atmosphere generated by the CPL and P-LDPE packages provided greater maintenance of the visual aspects of the purple carrot, extending the shelf life up to 120 days. The atmosphere provided by P-LDPE resulted in greater maintenance of the bioactive compounds found in the purple carrot. Thus, concentrations of O_2 between 11% and 12% and CO_2 at 0.5% are indicated for the prolonged storage of purple carrots in modified atmosphere packages.

Keywords: Daucus carota L.; Gaseous composition; Quality; Bioactive compounds

3.1. Introdução

Cenouras são consideradas hortaliças de baixa perecibilidade, devido à atividade respiratória reduzida. Entretanto, são altamente susceptíveis a perda de peso decorrentes da baixa umidade relativa (Seljasen *et al.*, 2013). Por isso, recomenda-se que essa raiz seja armazenada entre 0 e 4°C, com 93-100% UR (Suslow *et al.*, 2002; Chitarra e Chitarra, 2005). A manutenção da umidade relativa elevada durante o armazenamento tem se mostrado como um grande entrave para os produtores do setor. Muitos argumentam ser difícil encontrar equipamentos eficazes na correta nebulização do ambiente, sem que haja precipitação de umidade na superfície das cenouras. Em muitos casos, essa precipitação superficial favorece o desenvolvimento de patógenos mais rapidamente, e acarreta em grandes perdas econômicas, quando o armazenamento é feito por longos períodos. Umidade superficial associada à temperatura do ambiente, taxa de resfriamento e infecção preexistente, são fatores importantes para o aparecimento de podridões no armazenamento de cenouras (Mcdonald e Boland, 2004).

Cenouras roxas são novas no mercado e há poucos estudos sobre uso tecnologias pós-colheita. Em outros estudos realizados pela equipe, a perda de massa fresca em cenouras roxas armazenadas por sete dias em condição ambiente (25°C e 70% UR) chegou a 15%. Quando submetidas a temperaturas de 2°C, o tempo para que essa mesma perda de massa fresca ocorra se estende até 60 dias, quando não se tornam mais aptas para a comercialização, devido ao murchamento intenso que prevalece nas raízes (Capítulo 2). Tais fatos evidenciam o que foi relatado anteriormente, sobre a menor durabilidade de cenouras roxas comparadas às alaranjadas (IPGRI, 1998), as quais podem durar até 60% a menos em condições ideais de armazenamento.

As tecnologias utilizadas na pós-colheita visam diretamente à redução das perdas, além da manutenção da qualidade dos produtos por mais tempo. O uso de atmosfera modificadas utilizando embalagens pode auxiliar na redução das perdas por murchamento, por manter a umidade relativa alta ao redor do produto, sem requerer uma umidade relativa do ambiente elevada. Os benefícios da atmosfera modificada também consistem em reduzir o metabolismo e atrasar o amadurecimento e a senescência dos vegetais, bem como controlar o desenvolvimento de microrganismos e a podridão dos tecidos. Essa tecnologia tem sido amplamente estudada para aumentar a vida útil de produtos horticulturais, devido ao grande interesse comercial do seu desenvolvimento e implantação durante o transporte, armazenamento e comercialização (Chitarra e Chitarra, 2005; Floros e Matsos, 2005; Yahia, 2009). A embalagem ideal para esse sistema é a que possibilita redução de O_2 , mas que o mantenha acima do limite mínimo, e gere acúmulo de CO₂, mas em níveis mais baixos que os necessários para causar distúrbios fisiológicos. A concentração ideal depende do tipo de produto, estágio de desenvolvimento, idade fisiológica, entre outros (Fonseca et al., 2002; Chitarra e Chitarra, 2005). Não há um consenso na literatura sobre as concentrações ideais desses gases para o armazenamento de cenouras (Thompson, 2010). Entretanto, sabe-se que concentrações de CO2 acima de 5% aumentam a deterioração e as concentrações de O2 abaixo de 3% não são bem toleradas e geralmente resultam em aumento da podridão bacteriana (Suslow et al., 2002). Assim, para que a atmosfera modificada seja utilizada corretamente, é preciso conhecer a fisiologia, a biologia e os aspectos econômicos que envolvem o produto a ser usado, bem como estudar o efeito dessa tecnologia na qualidade dos vegetais (Yahia, 2009). Para cenouras roxas, os estudos são escassos.

Com esse cenário, buscou-se encontrar uma alternativa que aliasse a redução da transpiração e do murchamento, à manutenção da qualidade comercial, com aumento da

vida útil. O objetivo deste trabalho foi avaliar diferentes atmosferas modificadas geradas por diferentes embalagens e identificar a que resulte em maior manutenção da qualidade de cenouras roxa no armazenamento com UR abaixo da ideal. O presente estudo pode contribuir para o aumento do conhecimento sobre essa variedade tão pouco explorada, além de fornecer informações sobre a manutenção da qualidade da cenoura roxa, evitando perdas, inclusive as nutricionais, durante sua cadeia produtiva e garantindo que o produto chegue ao consumidor em perfeitas condições de consumo.

3.2. Material e métodos

3.2.1. Reagentes químicos

Folin-Ciocalteau, ácido acético, ABTS [(2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico)], Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico) e os reagentes e padrões utilizados em UPLC foram obtidos da Sigma-Aldrich (São Paulo, Brasil). Ácido gálico foi proveniente da Dinâmica Química Contemporânea Ltda (São Paulo, Brasil). Carbonato de sódio, metanol, etanol e ácido clorídrico foram obtidos da Labsynth (São Paulo, Brasil).

3.2.2. Material vegetal e descrição experimental

Cenouras roxas 'Deep Purple', produzidas no município de Araçoiaba da Serra (SP) (23° 30' 19" S e 47° 36' 51" W, 625 m de altitude), foram colhidas, selecionadas, classificadas por tamanho (15 a 20 cm de comprimento) e acondicionadas em contentores plásticos, com 20 kg de capacidade, e transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Póscolheita, onde passaram por uma nova seleção para a homogeneização do lote. As cenouras foram armazenadas por 12 horas a 2°C e 95-100% de UR, para retirada do calor de campo. Após, as cenouras foram submetidas seguintes aos tratamentos:

Tratamento 1 – Controle: bandeja de poliestireno expandido revestida por rede extrusada de polietileno (PE);

Tratamento 2 - CPL: copolímeros laminados (CPL) de 25cm x 29cm x 37μm (largura x comprimento x espessura), produzidos pela StePac L. A. Ltda, Israel (Xtend®, código 815-

LE47). Taxas de permeabilidade ao oxigênio a 23°C e a seco: 1.122 mL (CNTP) m⁻² dia⁻¹; Taxas de permeabilidade ao vapor d'água a 38°C e 90% UR: 3,99 g água m⁻² dia⁻¹;

Tratamento 3 - PEBD: Polietileno de baixa densidade (PEBD) com 25cm x 29cm x 60μm (largura x comprimento x espessura). Taxas de permeabilidade ao oxigênio a 23°C e a seco: 2.484 mL (CNTP) m⁻² dia⁻¹; Taxas de permeabilidade ao vapor d'água a 38°C e 90% UR: 3,27 g água m⁻² dia⁻¹;

Tratamento 4 – P-PEBD: PEBD com 25cm x 29cm x 60μm (largura x comprimento x espessura), com um furo de 340μm no centro de cada face do plástico. Taxas de permeabilidade ao oxigênio a 23°C e a seco: 2.484 mL (CNTP) m⁻² dia⁻¹; Taxas de permeabilidade ao vapor d'água a 38°C e 90% UR: 3,27 g água m⁻² dia⁻¹.

O tipo de embalagem e o número de perfurações foi selecionado a partir de resultados de experimentos prévios. As embalagens continham aproximadamente 800 g cada (Figura 9). Depois de seladas, as embalagens foram armazenadas a 2°C e 80-85% UR, durante 120 dias. Foi escolhido reduzir a UR de armazenamento (de 95-100%, ideal, para 80-85%) para avaliar a eficiência das embalagens escolhidas em manter a turgescência das raízes em uma UR reduzida, a fim de melhorar o processo de armazenamento para o produtor. As análises foram realizadas no dia da montagem do experimento (dia 0) e a cada 15 dias (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105 e 120 dias).



Figura 9. Embalagens utilizadas para formação de atmosfera modificada passiva em cenouras roxas (dia 0). CPL: copolímeros laminados (Xtend®, código 815-LE47, StePac L. A. Ltda, Israel); PEBD: polietileno de baixa densidade; P-PEBD: polietileno de baixa densidade perfurado.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 9 (tratamentos x período de análises), com exceção para o perfil de polifenóis, cujo esquema fatorial foi 4 x 3 (tratamentos x dias de análises). Foram utilizadas em cada período de análise três repetições por tratamento para as análises de cor, sólidos solúveis, compostos fenólicos totais, antocianinas, flavonóis totais, capacidade antioxidante, polifenóis, e quatro repetições por tratamento para as análises de perda de massa, concentração gasosa, taxa respiratória e análises visuais. Cada repetição era composta de uma embalagem de 800g.

3.2.3. Determinações

3.2.3.1. Análises visuais e físico-químicas

O índice de murchamento (IM), índice de brotamento (IB) e índice de podridão (IP) foram realizados por meio de atribuição de notas visuais, dadas sempre pelo mesmo analista, com base em sintomas macroscopicamente visíveis, com notas variando de 1 a 3. Para o IM, as notas foram 1 = raízes turgidas; 2 = raízes com sintoma de murchamento; 3 = raízes murchas. Para IB, 1 = raízes sem brotamento/enraizamento; 2 = raízes com início de brotamento/enraizamento; 3 = raízes com brotamento/enraizamento intenso. Para o IP, 1 = raízes sem podridão; 2 = raízes com aparecimento de podridão; 3 = raízes com podridão severa. O resultado foi expresso em porcentagem de cenoura em cada nota.

O limite da vida útil se deu pelos aspectos visuais de podridão, brotamento e murchamento. Os requisitos para o descarte foram a presença de 70% de cenouras classificadas na nota 2 para podridão (raízes com aparecimento de podridão) e para brotamento (raízes com início de brotamento) e ausência de cenouras túrgidas. Os fatores aconteceram isoladamente ou em conjunto, sendo descartado quando um deles aparecesse primeiro.

A perda de massa fresca foi determinada por pesagem das raízes na caracterização e ao longo do armazenamento, sendo o resultado em relação à massa inicial e expressa em porcentagem de massa fresca perdida.

O teor de sólidos solúveis foi medido por meio da leitura direta em refratômetro digital de mesa, marca Atago, modelo Palete 101, utilizando suco extraído da raiz triturada em centrífuga doméstica. Os resultados foram expressos em % (AOAC, 2010).

3.2.3.2. Análises fisiológicas

A composição gasosa no interior da embalagem foi determinada por meio de analisador de gases marca Witt, modelo Mapy 4.0, através de septos de silicone fixados nas embalagens, pelos quais foram coletadas amostras da atmosfera interna das mesmas. Os resultados foram expressos em % O₂ e % CO₂.

Para a determinação da taxa respiratória, 8 a 10 cenouras foram colocadas em frascos herméticos de vidro com capacidade de 2,5 L. Após decorrer 1 hora com os frascos fechados, foi retirado 0,5 mL de amostra de gás, com uma seringa de 1 mL, através de um septo de silicone colocado nas tampas dos frascos. Cada amostra coletada foi injetada em cromatógrafo a gás (marca Thermo Electron Corporation, modelo Trace GC Ultra) equipado com dois detectores de ionização de chama (FID), tendo hitrogênio como gás de arraste a um fluxo de 30 mL min⁻¹. As temperaturas utilizadas foram de 110°C na coluna, 140°C no injetor, 250°C no detector e 350°C no metanador. Os resultados foram calculados com base nas determinações cromatográficas, massa das cenouras e tempo que os frascos permaneceram fechados. Os resultados foram expressos em mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

3.2.3.3. Análises bioquímicas

Para as análises de compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante, foi realizado um extrato comum, preparado com 40 mg de amostra liofilizada de cenoura roxa e 10 mL de metanol 80% (v:v), seguido de armazenamento sob refrigeração e ao abrigo da luz por 24h, para a completa extração. Após esse período, houve centrifugação por 10 minutos a 3622 x g e 4°C, separando-se o sobrenadante em frascos âmbar, seguido de armazenamento a -21°C até a quantificação.

Os compostos fenólicos totais foram determinados pelo método desenvolvido por Singleton e Rossi (1965), com modificações. Adicionou-se 200 µL do extrato a 1,5 mL de água destilada em tubos de ensaio, seguido de 100 µL de Folin-Ciocalteau P.A. e agitação em

vórtex. Decorridos 5 minutos, foram adicionados 200 μ L de carbonato de sódio a 20% (v:v) nos tubos, os quais foram agitados e incubados por duas horas no escuro, em temperatura ambiente. A absorbância foi lida em espectrofotômetro, a 765 nm. O teor de fenólicos foi calculado utilizando-se curva padrão com ácido gálico (0-20 μ L) e os resultados expressos em mg AGE (ácido gálico equivalente) g⁻¹ massa seca.

A capacidade antioxidante foi realizada pelo método ABTS [(2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico)], segundo de descrito por Re et al. (1999). Os resultados foram calculados por meio de curva padrão com Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico) (0-20 μ M), sendo expressos em mM TE (Trolox equivalente) g⁻¹ massa seca.

A quantificação de antocianinas e de flavonóis totais foi realizada conforme Lees e Francis (1972), com modificações na quantidade de amostra utilizada de 100 g para 500 mg de cenoura roxa liofilizada e 20 mL de solução extratora de etanol a 95% e HCl a 1,5 N (85:15 v/v). Ambas as quantificações foram expressas em mg g-1 massa seca.

Para o perfil de polifenóis, as análises foram realizadas no dia 0 (início), após 15 dias de armazenamento e no último dia de vida útil de cada tratamento (final), sendo 120º, 90º, 120º dia para os tratamentos, CPL, PEBD e P-PEBD, respectivamente. O tratamento controle teve duração de apenas 15 dias, portanto, não houve análise no período final. Foi utilizada cromatografia líquida de ultra performance (UPLC), em equipamento Thermo Scientific™ UltiMate™ 3000 BioRS com detector fotodiodo, em coluna C18 (2,2 um, 2,1 x 50 mm) (Acclaim™ RSLC 120, Thermo Scientific™, EUA) pelo método proposto por Natividade et al. (2013) com adaptações. Na extração foram pesados 200 mg de amostra liofilizada e extraídos com três lavagens com metanol acidificado (80 metanol : 1 ácido acético : 19 água; v:v:v), sendo a primeira com 3 mL e as duas seguintes com 2,5 mL. Na primeira lavagem foi realizada com agitação durante 1 min, seguido de encubação em banho ultrassônico por uma hora. Nas lavagens seguintes, os extratos foram agitados em vórtex por 1 min. Após, as amostras foram, centrifugadas por 10 minutos a 1233 x q a 4°C e o sobrenadante coletado. A cada ciclo de reextração da matriz, as coletas dos sobrenadantes foram unidas e posteriormente filtradas em PVDF poro de 0,45 µm, sendo armazenado em frascos âmbar. Para a quantificação, a fase móvel consistiu em (A) ácido fosfórico 0,85%e (B) acetonitrila 100%. O gradiente usado foi: 0-2,5 min, A 96%; 2,5-7,5 min, A 92%; 7,5-15 min, A 88%; 15-18 min, A 85%; 18-20 min, A 80%; 20-31 min, A 75%; 21-22 min, A 65%; 22-24 min, A 35%; 2425 min, A 96%. A injeção por amostra foi de 20 μL e a temperatura da coluna foi mantida a 39°C, com fluxo de 0.8 mL min⁻¹. Foram utilizados os comprimentos de onda 280 nm, 320 nm e 360 nm, compreendendo os espectros de absorção para ácidos hidroxibenzóicos, hidroxicinâmicos e flavonoides, respectivamente. Os resultados foram expressos em μg g⁻¹ massa seca. Os padrões utilizados se encontram na tabela abaixo.

Tabela 3. Padrões de polifenóis, tempo de retenção e UV visível utilizados.

Composto	Nome científico	Tempo de retenção (min)	UV visível - absorção máxima (nm)
Acido Gálico	3,4,5-Tri hydroxybenzoic a cid	0,747	280
Catequina	trans-3-3'-4'-5-7-Pentahydroxy flavane	4,273	280
Acido Cafeico	3,4-Dihydroxybenzeneacrylic acid	4,290	320
Acido Clorogênico	3-(3,4-Dihydroxycinnamoyl) quinic acid	5,030	320
Acido p-cumárico	trans-4-Hydroxycinnamic acid	5,970	320
Acido trans-ferúlico	trans-4-Hydroxy-3-methoxycinnamic acid	7,917	320
Rutina	quercetin-3-rutinoside hydrate	13,710	360
Acido trans-cinamico	trans-3-Phenylacrilic acid	13,967	280
Quercetina	3,3',4',5,6-Pentahydroxyflavone	20,057	360

3.2.4. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey (P≥0,05), pelo software estatístico SAS, versão 9.2 (SAS Institute, Cary, NC, USA).

3.3. Resultados e discussão

3.3.1. Qualidade visual de cenouras roxas é mantida pela atmosfera modificada gerada pelas embalagens

O uso de embalagens para modificação da atmosfera prolongou a vida útil de cenouras roxas, além de resolver dois problemas para os produtores: o controle da umidade relativa elevada dentro das câmeras de armazenamento e o murchamento das cenouras.

Dessa forma, optou-se por conduzir o experimento em umidade relativa mais baixa (80-85%), para reduzir os custos com armazenamento de cenouras.

Cenouras roxas apresentaram grande possibilidade de serem armazenadas em atmosfera modificadas por embalagens. Houve prolongamento da vida útil de cenouras com as embalagens, independentemente do tipo de material utilizado. Segundo os requisitos estabelecidos, as cenouras roxas alcançaram vida útil de 15 dias, 120 dias, 90 dias e 120 dias, para os tratamentos controle, CPL, PEBD e P-PEBD, respectivamente.

Os sintomas de murchamento apareceram apenas para as cenouras do controle, as quais não possuíam atmosfera modificada. No 15º dia de armazenamento, apenas 9% das cenouras se mostraram túrgidas, 39% com sintomas de murchamento e 52% de cenouras murchas (Figura 10a). Nos demais tratamentos não houve sintoma de murchamento, evidenciando que a utilização de embalagens que proporcionem uma atmosfera interna com umidade relativa alta é eficiente em manter as cenouras túrgidas por mais tempo.

Cenouras embaladas com CPL foram as primeiras a apresentarem indícios de podridão (nota 2) no 30º dia de armazenamento (1% das raízes), seguindo assim até o 60º dia (Figura 10b). No período seguinte, as raízes embaladas com PEBD apresentaram 16% de cenouras com indícios de podridão, valor acima dos encontrados nos demais tratamentos. Houve aumento na podridão para essa embalagem com o decorrer do tempo, sendo que no 105º dia, havia 52% de cenouras com indícios de podridões e 20% delas com podridões evidentes (nota 2), motivo que levou esse tratamento ao descarte. Cenouras embaladas com CPL e com P-PEBD apresentaram os menores valores, 12% e 5%, respectivamente, de raízes com indícios de podridão no 120º dia.

A embalagem de CPL também foi a primeira a propiciar indícios de brotamento, no 30º dia (1%), mantendo-se assim até o 90º dia, quando o tratamento de P-PEBD também apresentou raízes em início de brotamento (9%) (Figura 10c). Até o final do período, houve apenas 7% de cenouras na nota 1 para o tratamento CPL, enquanto que cenouras embaladas com P-PEBD aumentaram gradativamente o número de raízes com nota 1, totalizando 35% no 120º dia. Cenouras do controle e em PEBD não apresentaram brotamento.

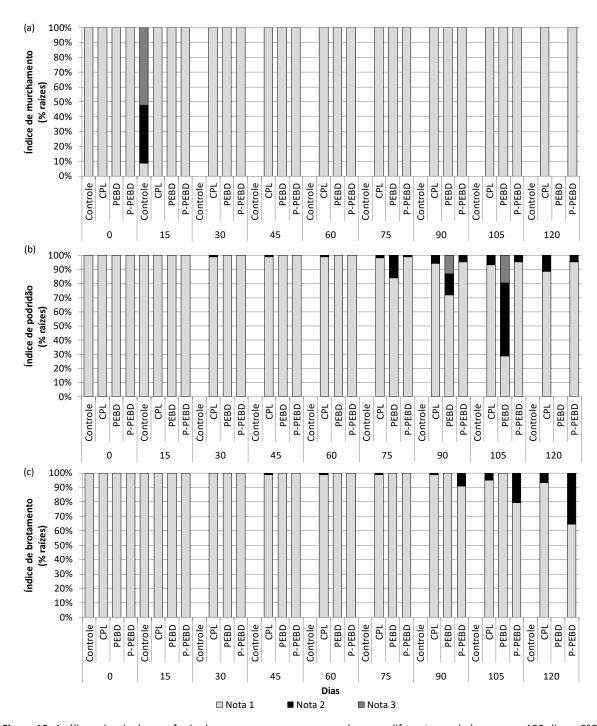


Figura 10. Análises visuais da aparência de cenouras roxas armazenadas com diferentes embalagens por 120 dias a 2°C e 80-85% UR. Notas: 1 = raízes turgidas / sem brotamento ou enraizamento / sem podridão; 2 = raízes com sintoma de murchamento / com início de brotamento ou enraizamento / com aparecimento de podridão; 3 = raízes murchas / com brotamento ou enraizamento intenso / com podridão severa (n=4). CPL: copolímeros laminados; PEBD: polietileno de baixa densidade; P-PEBD: polietileno de baixa densidade perfurado.

A perda de massa fresca se mostrou maior no tratamento controle, sendo que ao 15º dia apresentou valores de 13,74% (Figura 11). Os demais tratamentos apresentaram perdas próximas à zero, não diferindo entre si. Tais resultados complementam os encontrados pelo índice de murchamento, o qual também apresentou resultados apenas

para o controle. As embalagens utilizadas foram eficientes em manter a aparência fresca e a baixa perda de água, devido à formação do microclima no seu interior, com alta umidade relativa, independentemente do tipo de embalagem utilizada.

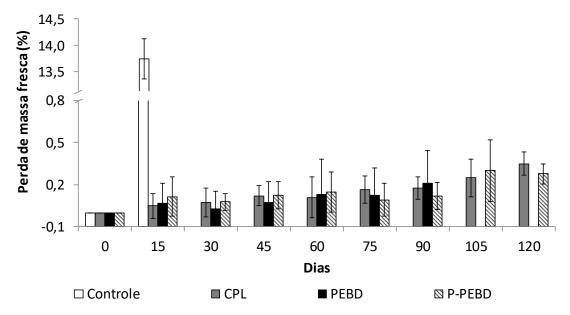


Figura 11. Perda de massa de cenouras roxas armazenadas com diferentes embalagens por 120 dias a 2°C e 80-85% UR. Barras verticais representam o erro padrão da média (n=5). CPL: copolímeros laminados; PEBD: polietileno de baixa densidade; P-PEBD: polietileno de baixa densidade perfurado.

3.3.2. Concentração gasosa alterada pelas embalagens auxiliam na manutenção da vida útil de cenouras roxas

A modificação da atmosfera no interior da embalagem pode contribuir com a extensão da vida útil. A taxa de respiração do produto e a taxa de transmissão de gás do material de embalagem determinam a composição gasosa no seu interior. Dessa forma, a concentração gasosa no interior da embalagen, a taxa respiratória e os sólidos solúveis, auxiliam na observação influência da atmosfera modificada no metabolismo das cenouras.

A concentração gasosa no interior da embalagem apresentou diferenças entre as embalagens utilizadas. O tratamento controle não apresentou variação, visto não se utilizar de embalagens fechadas, mantendo as condições da atmosfera ambiente (Figura 12a e 12b). Os demais tratamentos alcançaram a atmosfera de equilíbrio após 15 dias de armazenamento, mantendo-se até o final do período analisado. Foram verificados os menores valores de O₂ ao longo do armazenamento nas embalagens de PEBD, abaixo de 1,20%, chegando próximo a zero no 30º e no 90º dias (Figura 12a). Embalagens CPL e P-PEBD

resultaram em concentrações de O₂ muito próximas durante todo o período, não diferindo estatisticamente entre si. Quanto à concentração de CO₂, o tratamento com P-PEBD apresentou as menores concentrações em relação aos demais tratamentos, sempre abaixo de 0,8% (Figura 12b). As embalagens de CPL e PEBD se mostraram muito próximas, com exceção do 90º dia, quando a concentração de CO₂ nas embalagens PEBD apresentou aumento de 200%, passando de 0,93%, no dia 75, para 2,82%, no 90º dia. Tal acréscimo é devido ao aumento da taxa respiratória, pelo início de um metabolismo anaeróbio, e também pela maior incidência de podridão, verificada nesse mesmo período. Dessa forma, a embalagem CPL proporcionou atmosfera modificada com 12,4% de O₂ e 1,0% de CO₂, a PEBD com 0,7% de O₂ e 1,1% de CO₂ e a P-PEBD com 11,4% de O₂ e 0,5% de CO₂, em média.

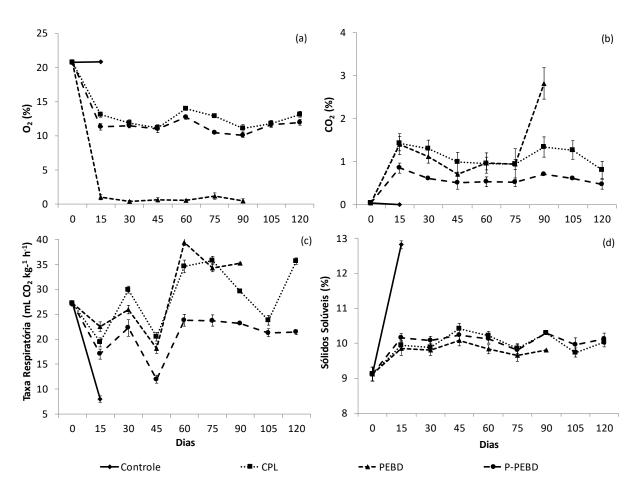


Figura 12. Composição gasosa (a e b), taxa respiratória (c) e sólidos solúveis (d) de cenouras roxas armazenadas com diferentes embalagens por 120 dias a 2°C e 80-85% UR. Barras verticais representam o erro padrão da média (O₂ e CO₂: n=6; Taxa respiratória: n=5; Sólidos solúveis: n=3). CPL: copolímeros laminados; PEBD: polietileno de baixa densidade; P-PEBD: polietileno de baixa densidade perfurado.

Cenouras roxas do controle apresentaram as menores taxas respiratórias no 15º dia (8,0 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹), reduzindo 71% em relação à caracterização (Figura 12c). Não foi observada diferença entre os demais tratamentos até o 45º dia, mas a partir do 60º dia, cenouras em P-PEBD exibiram os menores valores comparado às demais embalagens, com média de 21,3 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹. Cenouras embaladas com CPL e PEBD exibiram comportamento parecido, não diferindo entre si, com média de 28,5 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ e 29,0 mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹, respectivamente.

O teor de sólidos solúveis teve maior variação para cenouras controle, aumentou 41% do dia 0 para o 15º dia (Figura 12d). Os demais tratamentos variaram pouco ao longo do armazenamento, mantendo-se entre 9,1% e 10,4%. Apenas aos 90º dia houve diferença estatística entre os tratamentos, quando as cenouras armazenadas em PEBD apresentaram 9,8%, valor abaixo do verificado nas cenouras de outras embalagens. Nos demais dias, não houve diferença estatística entre os tratamentos.

3.3.3. Aspectos bioquímicos são influenciados pela atmosfera modificada

O acompanhamento dos aspectos bioquímicos auxilia na verificação dos efeitos da atmosfera modificada nos compostos bioativos da cenoura roxa, uma vez que a manutenção deles é importante para oferecer ao consumidor alimentos de boa qualidade nutricional. Além disso, por meio desses compostos é possível também inferir os efeitos no metabolismo do vegetal.

Cenouras embaladas com P-PEBD mantiveram as maiores concentrações de compostos fenólicos totais, enquanto que cenouras em CPL apresentaram a menor média (Figura 13a). Foi observada queda na concentração de compostos fenólicos nas cenouras em P-PEBD até o 30º dia, seguido de aumento gradativo, alcançando os patamares iniciais ao final do período avaliado. CPL e PEBD proporcionaram comportamento semelhante, com o menor valor no 75º dia, seguido de acréscimo, mas mantendo valores finais 24% e 16% menores que a caracterização. Cenouras controle tiveram redução de 33% no conteúdo de compostos fenólicos.

Os teores de antocianinas e de flavonóis tiveram interferência da atmosfera modificada gerada pelas diferentes embalagens utilizadas. Foi demonstrado que cenouras em P-PEBD tiveram os maiores valores desses compostos e este foi o único tratamento a ter

acréscimo no conteúdo ao final do período, com incremento de 11% e 15%, para antocianinas e flavonóis, respectivamente (Figura 13b e 13c). Cenouras em PEBD exibiram grande variação no conteúdo no decorrer do armazenamento, mas sem mostrar diferença entre os valores iniciais e finais. Foi observado redução na concentração desses compostos para cenouras em CPL e controle, com mais intensidade nas cenouras controle. CPL manteve cenouras com maior estabilidade na concentração de antocianinas e flavonóis, apesar da queda no 15º dia.

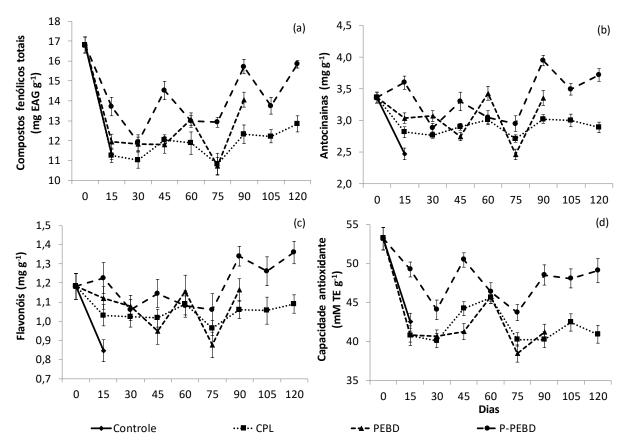


Figura 13. Compostos fenólicos totais (a), antocianinas (b), flavonóis (c) e capacidade antioxidante (d) de cenouras roxas armazenadas com diferentes embalagens por 120 dias a 2°C e 80-85% UR. Barras verticais representam o erro padrão da média (n=3). CPL: copolímeros laminados; PEBD: polietileno de baixa densidade; P-PEBD: polietileno de baixa densidade perfurado.

Como consequência das modificações nos conteúdos de compostos fenólicos totais, antocianinas e flavonóis, a capacidade antioxidante também foi afetada pelas diferentes atmosferas modificadas geradas (Figura 13d). Houve diminuição da capacidade antioxidante para todos os tratamentos durante o armazenamento. Cenouras do controle e dos tratamentos com CPL e PEBD tiveram redução média de 22% na capacidade antioxidante,

diferentemente das cenouras em P-PEBD, que diminuíram apenas 8% no final do período avaliado. No decorrer dos dias, os tratamentos não apresentaram diferença entre si, com exceção do 45º dia, quando cenouras em P-PEBD tiveram maior capacidade antioxidante que as demais.

3.3.4. Alteração do perfil de polifenóis decorrente da atmosfera modificada

A fim de aprofundar os estudos da consequência da atmosfera modificada na qualidade de cenouras roxas, optou-se por avaliar o perfil dos polifenóis encontrados nas cenouras roxas e verificar a relação das modificações ocorridas no perfil com a atmosfera gerada pelas embalagens escolhidas.

Cenouras em P-PEBD demonstraram as maiores concentrações de quase todos os polifenóis estudados, com exceção para o ácido gálico e trans-ferúlico, nos quais cenouras do controle tiveram os maiores teores (Tabela 4). As menores concentrações de catequina, quercetina, ácido *p*-cumárico e ácido cafeico foram verificadas nas cenouras controle, enquanto que os ácido clorogênico, rutina e ácido gálico foram encontrados em quantidade reduzida nas raízes em CPL. Cenouras em PEBD apresentaram valores intermediários em todos os polifenóis avaliados. A quantidade de ácido trans-cinâmico não apresentou diferença estatística entre os tratamentos e quercetina e ácido trans-ferúlico não apresentaram diferença na concentração entre as cenouras embaladas.

Tabela 4. Concentração média de polifenóis de cenouras roxas armazenadas com diferentes embalagens por 120 dias a 2°C e 80-85% UR.

Comments (100 -1)	Tratamentos			
Composto (μg g ⁻¹)	Controle	CPL	PEBD	P-PEBD
Polifenóis totais*	3331,0 b	3176,7 d	3314,5 c	3579,7 a
Ácido clorogênico	2517,8 b	2306,8 d	2464,1 c	2648,4 a
Catequina	139,4 с	196,3 b	175,0 b	245,7 a
Rutina	329,6 ab	328,6 b	328,6 ab	329,2 a
Ácido Gálico	126,6 a	122,6 b	122,6 ab	125,7 ab
Ácido trans-ferúlico	124,1 a	122,4 b	122,6 b	122,2 b
Quercetina	69,6 b	70,2 a	70,1 a	70,3 a
Ácido p-cumárico	19,5 c	21,0 bc	23,3 ab	28,7 a
Ácido cafeico	4,0 c	8,4 b	7,8 b	9,2 a
Ácido trans-cinâmico	0,4 a	0,4 a	0,4 a	0,4 a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05). *Somatória dos polifenóis analisados. CPL: copolímeros laminados; PEBD: polietileno de baixa densidade; P-PEBD: polietileno de baixa densidade perfurado.

A concentração de ácido clorogênico, principal composto fenólico encontrado nas cenouras roxas, apresentou significativa redução nas cenouras embaladas com CPL, estabilidade nas cenouras controle e com PEBD, e aumento naquelas com P-PEBD no decorrer dos dias de armazenamento (Figura 14a). Catequina e quercetina mantiveram o mesmo comportamento, com manutenção do teor nas cenouras controle e acréscimo nos demais tratamentos (Figura 14c e 14f).

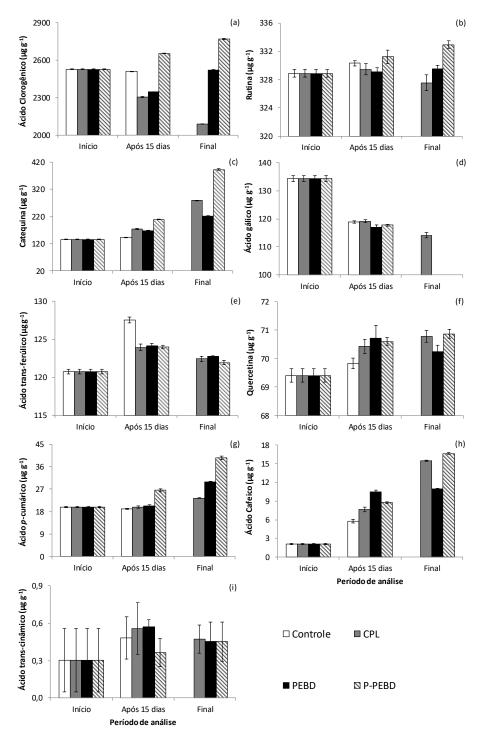


Figura 14. Perfil de polifenóis de cenouras roxas armazenadas com diferentes embalagens por 120 dias a 2°C e 80-85% UR. Barras verticais representam o erro padrão da média (n=3). CPL: copolímeros laminados; PEBD: polietileno de baixa densidade; P-PEBD: polietileno de baixa densidade perfurado.

O conteúdo de ácido trans-ferúlico apresentou incremento no 15º dia, seguido de redução no final do período nas cenouras em todas as embalagens utilizadas (Figura 14e). Houve preservação no teor de ácido *p*-cumárico nas cenouras controle, mas incremento nos demais tratamentos com o decorrer da vida útil (Figura 14g). Para o ácido cafeico, foi

observado aumento de sua concentração independente da embalagem utilizada (Figura 14h).

Não foi verificado interação significativa entre os dias e os tratamentos para rutina, ácido trans-cinâmico e ácido gálico. Houve estabilidade para rutina e aumento para ácido trans-cinâmico com o decorrer do armazenamento (Figura 14b e 14i). O conteúdo de ácido gálico foi reduzido nos tratamentos, não sendo detectável nas cenouras com PEBD e P-PEBD ao final do período analisado (Figura 14d).

3.4. Discussão

O uso de embalagens proporciona atmosferas modificadas ao redor das hortaliças que auxiliam na durabilidade desses produtos, desde que a atmosfera formada no interior seja compatível com a fisiologia do produto embalado. Com essa tecnologia também é possível manter a umidade relativa elevada por longos períodos, evitando danos na aparência e perda do valor comercial. Ainda, proporciona melhorias no manuseio póscolheita, por reduzir impactos, facilitar o armazenamento e o transporte, além de agregar valor ao produto final, com a possibilidade de utilização e divulgação de uma marca. Nesse trabalho observou-se que embalagens são importantes para inibir as perdas por murchamento, gerando maior manutenção da aparência e dos aspectos bioquímicos, além de prolongar a vida útil.

As análises visuais, juntamente com a análise de perda de massa fresca, mostraram que todas as embalagens tiveram melhor desempenho quando comparadas ao controle, comprovando a importância em se utilizar embalagens em cenouras.

O descarte das cenouras controle foi devido, exclusivamente, ao murchamento das raízes. Mesmo em condições de temperatura adequada e umidade relativa mais alta que a do ambiente, e com a taxa respiratória reduzida, tais cenouras obtiveram uma durabilidade de apenas 15 dias. O murchamento é considerado um dos principais problemas de qualidade nas cenouras e ocasiona descarte e perda de valor comercial. Também, o murchamento está relacionado a condições inadequadas de armazenamento. Como a periderme das cenouras é muito fina e altamente permeável à água, a baixa umidade do ar reduz a vida útil e aumenta o murchamento das raízes (Lana *et al.*, 2002; Seljasen *et al.*, 2013) .

O murchamento está diretamente relacionado com a perda de massa fresca, que ocorre principalmente por perda de água e carboidratos por meio da transpiração e respiração, respectivamente, o que acarreta em enrugamento, perda de frescor, textura e brilho ao longo do armazenamento (Chitarra e Chitarra, 2005). Observou-se que todas as embalagens utilizadas permitiram a manutenção da massa fresca, o que pode estar relacionado com a taxa de permeabilidade ao vapor de água que o material possui, visto os valores serem muito próximos. Dessa forma, os materiais permitiram o acúmulo de umidade no espaço interno, mantendo as cenouras túrgidas em todo o armazenamento. A perda de massa fresca abaixo de 0,5% não resulta em sintomas visíveis de murchamento e não tem impacto negativo na qualidade visual da cenoura (Larsen e Wold, 2016). Outros autores também encontraram perda de massa fresca significativa em cenouras não embaladas em temperatura ambiente (Oliveira et al., 2001; Caron et al., 2003; Ayub et al., 2010), e naquelas armazenadas sob refrigeração e teor de umidade entre 79-94% (Opoku et al., 2009). Perda de massa abaixo de 0,34% para cenouras acondicionadas em embalagens perfuradas e sob refrigeração foram descritas anteriormente (Larsen e Wold, 2016).

O brotamento das raízes pode ter sido favorecido pelo microclima nas embalagens, com a umidade relativa alta, gerada pela transpiração do vegetal. A concentração de CO₂, contudo, pode ter sido um fator importante no brotamento, uma vez que CPL proporcionou menores quantidades de cenoura com brotamento, e concentração de CO₂ maior que a embalagem de P-PEBD. Outros trabalhos também evidenciaram o surgimento de brotamento e podridão em cenouras embaladas durante o armazenamento (Oliveira *et al.*, 2001; Ayub *et al.*, 2010) e também em cenouras sob atmosfera controlada (Opoku *et al.*, 2009).

Cenouras roxas embaladas com PEBD apresentaram maior índice de podridão. Esta mesma embalagem também gerou uma atmosfera incompatível com o metabolismo da cenoura durante o armazenamento, devido à concentração de oxigênio próximo à zero. A redução da concentração de O₂ favoreceu a proliferação de microrganismos anaeróbios, que causaram podridão mole (*Pectobacterium carotovorum*) e também o aparecimento de mofo branco (*Sclerotinia minor*). Dessa forma, atmosfera modificada que restringe a concentração de O₂ próxima a zero não deve ser utilizada para o armazenamento de cenouras roxas. Tais patógenos, juntamente com *Fusaruim* spp., *Alternaria* e *Thielaviopsis*, são comumente encontrados em cenouras armazenadas por longos períodos em 0-1°C e 95% UR (Lepse et

al., 2014). Sabe-se que concentrações de O_2 abaixo de 3% não são toleráveis para as cenouras e ainda contribui para o aumento de podridão por bactérias (Suslow *et al.*, 2002). Outros autores também encontraram rápida deterioração de cenouras armazenadas em baixas concentrações de O_2 e altas de CO_2 (Edelenbos, 2010; Lepse *et al.*, 2014).

Todas as embalagens permitiram concentrações de CO₂ abaixo do limite máximo tolerado por cenouras, de 5% (Suslow *et al.*, 2002). O acréscimo de CO₂ encontrado no último dia de análise na embalagem PEBD pode ser indicativo de uma mudança do metabolismo aeróbio para anaeróbico, resultando em maior produção de CO₂ (Fonseca *et al.*, 2002). Também, a maior incidência de podridão, verificada nesse mesmo período para esta embalagem, pode ter resultado no aumento de CO₂. Os microrganismos presentes contribuíram para o seu acúmulo no interior da embalagem. Concentrações de CO₂ acima de 5-10% e de O₂ abaixo de 2,5-6% favorecem o desenvolvimento de microrganismos e de brotamento (Edelenbos, 2010). Outros autores encontraram que concentrações de 7 a 13% de O₂ e 3 a 5% de CO₂ são adequadas para cenouras laranjas (Lepse *et al.*, 2014) e 5 ou 10% de O₂ e 5% de CO₂ resultam em cenouras roxas com maior qualidade sensorial (Gajewski *et al.*, 2010), considerando o armazenamento a longo prazo.

A permeabilidade das embalagens CPL e P-PEBD utilizadas permitiu a formação de uma atmosfera de equilíbrio adequada para a manutenção da qualidade e prolongamento da vida útil de cenouras roxas durante o período analisado. A utilização de dois furos na embalagem de P-PEBD foi eficiente para aumentar a permeabilidade ao O₂, impedindo que houvesse o seu esgotamento, e ainda manter a concentração de CO₂ em níveis adequados. Mesmo possuindo uma taxa de permeabilidade ao O₂ 54% maior que a CPL, a perfuração realizada auxiliou na permeabilidade e permitiu condições adequadas de concentração gasosa e de umidade relativa. A embalagem de PEBD é facilmente encontrada no comércio atacadista e possui preço bem acessível e, com a utilização dos furos (P-PEBD), podem ser uma alternativa para a utilização no armazenamento de cenouras. Outros autores também verificaram que perfurações nas embalagens garantem alta qualidade de cenoura durante o armazenamento em curto período, por manter a concentração gasosa a níveis tolerados que não causam danos no metabolismo das cenouras (Larsen e Wold, 2016).

A maior taxa respiratória foi encontrada nas embalagens com maior concentração de CO₂. Embalagens de CPL e PEBD apresentaram maior produção de CO₂ pela respiração e maior acúmulo no espaço livre, diferentemente do ocorrido pela P-PEBD, a qual mostrou

cenouras com menor taxa de respiração e menor acúmulo de CO₂. O aumento da permeabilidade ocasionada pela utilização de furos na embalagem de P-PEBD auxiliou também na manutenção do menor metabolismo das cenouras, ou seja, essa embalagem proporcionou maior equilíbrio na entrada de O₂, para consumo na respiração, e na saída de CO₂, liberado na respiração do produto. Tais características são aspectos que se buscam em uma embalagem adequada para o armazenamento de produtos (Mangaraj *et al.*, 2009).

A variação observada no teor de sólidos solúveis no controle é devido à perda de massa apresentada no mesmo período. Isso porque, a perda de água faz com que os sólidos presentes se concentrem e exibam maiores valores, uma vez que não há mais o solvente para diluir o soluto presente (Chitarra e Chitarra, 2005). As demais variações verificadas são consideradas muito baixas, menores de 1,3%, e podem não ser perceptíveis ao consumidor. Em atmosfera controlada, não foi verificada variação significativa nos teores de sólidos solúveis (Opoku *et al.*, 2009)

As condições de atmosfera normal associada à baixa UR (85%) proporcionaram a rápida degradação de compostos fenólicos, antocianinas e de flavonóis, além de outros polifenóis. Apenas para o ácido gálico e trans-ferúlico houve maior concentração nas cenouras controle. Provavelmente, o menor teor desses compostos bioativos foi promovido pela elevada perda de massa fresca, a qual afetou a conformação celular pela desidratação, gerando estresse abiótico. Esse fato pode ter resultado no consumo desses compostos como forma de atenuar os danos causados. Outros autores mostraram que a manutenção da umidade relativa durante o armazenamento de cenouras é necessária para a conservação de pigmentos, açúcares e ácido ascórbico (Seljasen *et al.*, 2013).

Em suma, a atmosfera modificada gerada pela embalagem CPL e pela PEBD promoveu redução de compostos fenólicos, antocianinas e de flavonóis, assim como menor capacidade antioxidante. Da mesma forma, nessas duas embalagens, foram observadas cenouras com as menores concentrações de polifenóis, principalmente naquelas em PEBD. Ainda, ambas as embalagens proporcionaram taxa respiratória muito próxima e maior que a verificada nas cenouras em P-PEBD. O maior metabolismo nas cenouras em CPL e PEBD, evidenciado pela maior taxa respiratória, favoreceu o consumo dos compostos bioativos durante o armazenamento, diferentemente do ocorrido nas cenouras em P-PEBD, as quais mantiveram menor taxa respiratória e maior conteúdo dos compostos de interesse. A modificação da atmosfera interna nas embalagens tem como objetivo reduzir os processos

fisiológicos, como a respiração e produção de etileno, bem como restringir a oxidação de compostos, mantendo a qualidade dos produtos por mais tempo (Fonseca *et al.*, 2002; Yahia, 2009).

3.5. Conclusão

A atmosfera modificada gerada pelas embalagens CPL e P-PEBD proporcionou maior manutenção dos aspectos de qualidade da cenoura roxa, ampliando a vida útil em até 120 dias. A atmosfera proporcionada pela P-PEBD resultou também em maior manutenção dos compostos bioativos encontrados na cenoura roxa. Dessa forma, concentrações de O₂ entre 11% e 12% e de CO₂ a 0,5% são indicadas para o armazenamento prolongado de cenouras roxas em embalagens de atmosfera modificada.

Referências

AOAC, Association of Official Agricultural Chemists. **The Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18th. **Washington**: AOAC International, 2010. 2500 p.

AYUB, R. A.; GIOPPO, M.; REGHIN, M. Y. Evaluation of the use of plastic film of polyvinyl chloride (PVC) in the storage of carrots. **Semina-Ciencias Agrarias**, v. 31, n. 4, p. 959-966, 2010.

CARON, V. C.; JACOMINO, A. P.; KLUGE, R. A. Conservação de cenouras 'Brasília' tratadas com cera. **Horticultura Brasileira,** v. 21, n. 4, p. 597-600, 2003. >.

CHITARRA, M. F. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. revisada e ampliada**. 2 rev. e ampl. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 785 p.

EDELENBOS, M. How do alternative storage methods affect the storage potential of carrots? In: HERPPICH, W. B. (Ed.). **III International Conference Postharvest Unlimited 2008**, v.858, 2010. p.287-294. (Acta Horticulturae).

FLOROS, J. D.; MATSOS, K. I. Introduction to modified atmosphere packaging. In: HAN, J. H. (Ed.). **Innovations in Food Packaging**. London: Academic Press, 2005. cap. 10, p.159-172.

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, 2002.

GAJEWSKI, M.; SZYMCZAK, P.; RADZANOWSKA, J. Sensory quality of orange, purple and yellow carrots stored under controlled atmosphere. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca,** v. 38, n. 3, p. 169-176, 2010.

IPGRI, International Plant Genetic Resources Institute. **Descriptors for Wild and Cultivated Carrots:** (*Daucus Carota L.*). Roma, Italy: Bioversity International, 1998. 65 p.

LANA, M. M. et al. Identificação das causas de perdas pós-colheita de cenoura no varejo, Brasília-DF. **Horticultura Brasileira,** v. 20, p. 241-245, 2002.

LARSEN, H.; WOLD, A. B. Effect of modified atmosphere packaging on sensory quality, chemical parameters and shelf life of carrot roots (*Daucus carota* L.) stored at chilled and abusive temperatures. **Postharvest Biology and Technology**, v. 114, p. 76-85, 2016.

LEES, D. H.; FRANCIS, F. J. Standardization of pigment analyses in cranberries. **HortScience**, v. 7, n. 1, p. 83-84, 1972.

LEPSE, L. et al. Influence of controlled atmosphere on the carrot storage quality. **Eurasian Symposium on Vegetables and Greens, v.** 1033, 2014.

MANGARAJ, S.; GOSWAMI, T. K.; MAHAJAN, P. V. Applications of plastic films for modified atmosphere packaging of fruits and vegetables: a review. **Food Engineering Reviews,** v. 1, n. 2, p. 133-158, 2009.

MCDONALD, M. R.; BOLAND, G. J. Forecasting diseases caused by Sclerotinia spp. in eastern Canada: fact or fiction? **Canadian Journal of Plant Pathology**, v. 26, n. 4, p. 480-488, 2004.

NATIVIDADE, M. M. P. et al. Simultaneous analysis of 25 phenolic compounds in grape juice for HPLC: Method validation and characterization of São Francisco Valley samples. **Microchemical Journal,** v. 110, p. 665-674, 2013.

OLIVEIRA, V. et al. Packaging carrots cv. Brasília with pvc film. **Ciência e Agrotecnologia,** v. 25, n. 6, p. 1321-1329, 2001.

OPOKU, A.; MEDA, V.; WAHAB, J. Effects of storage methods on quality characteristicsof carrots grown under organic and conventional management. <u>CSBE/SCGAB 2009 Annual Conference</u>. Prince Edward Island The Canadian Society for Bioengineering: 1-16 p. 2009.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine,** v. 26, n. 9–10, p. 1231-1237, 1999.

SELJASEN, R. et al. Quality of carrots as affected by pre- and postharvest factors and processing. **Journal of the Science of Food and Agriculture,** v. 93, n. 11, p. 2611-2626, 2013.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965

SUSLOW, T.; MITCHELL, J.; CANTWELL, M. Carrot: recommendations for maintaining postharvest quality.

2002. Disponível em: < http://postharvest.ucdavis.edu/Commodity_Resources/Fact_Sheets/Datastores/Vegetables_English/?uid=9&ds=799 >. Acesso em: 06 ago. 2018.

THOMPSON, A. K. Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables. 2nd. London: CAB International, 2010.

YAHIA, E. M. Introduction. In: YAHIA, E. M. (Ed.). **Modified and controlled atmospheres for the storage, transportation, and packaging of horticultural commodities**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2009. cap. 1, p.1 -16.

4. RECOBRIMENTO COMESTÍVEL NA CONSERVAÇÃO DE COMPOSTOS BIOATIVOS E QUALIDADE COMERCIAL DE CENOURA ROXA

Resumo

O objetivo foi avaliar o uso de diferentes concentrações de revestimentos a base de quitosana e cera de carnaúba, na conservação de cenouras roxas. Cenouras roxas 'Deep Purple' foram submetidas a seis tratamentos: quitosana a 1%, 3% e 5% (Q1, Q3 e Q5, respectivamente); cera de carnaúba 0,5%, 1% (CC0,5 e CC1, respectivamente) e tratamento controle, sem recobrimento. Após a aplicação, cenouras foram armazenadas a 2°C, sob 95-100% UR, por 90 dias, sendo avaliadas no dia da aplicação (dia 0) e aos 7, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias. Para os polifenóis, as análises ocorreram nos dias 0, 15 e no último dia de cada tratamento. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 7x8 (tratamentos x período de análises), com 5 repetições para as análises de aparência, perda de massa fresca, índice de murchamento, coloração e taxa respiratória; e 3 repetições para as análises de sólidos solúveis, compostos fenólicos totais, antocianinas, flavonóis totais e capacidade antioxidante e 7x3 (tratamento x período de análises), com 3 repetições para os polifenóis. Sintomas de murchamento foram observados primeiramente nas cenouras com CC1, seguido de Q1, controle, CC0,5, Q5 e Q3, tendo esse último também apresentado maior manutenção da turgescência e menor perda de massa durante o armazenamento. Cenouras tratadas com Q3 exibiram a menor taxa respiratória, enquanto que cenouras com CC1 mostraram a maior taxa. O teor de sólidos solúveis demonstrou pouca variação (<1%) ao longo do armazenamento, independente do tratamento aplicado. O conteúdo de compostos fenólicos totais, antocianinas e flavonóis oscilaram ao longo do armazenamento para todos os tratamentos. Houve redução da capacidade antioxidante apenas para as cenouras controle, enquanto que para cenouras com recobrimento, independente da matéria-prima base e da concentração, foi verificado aumento na capacidade com o decorrer do armazenamento. Cenouras com Q1, CC0,5 e CC1 apresentaram os maiores valores médios de polifenóis, enquanto que nas cenouras controle e naquelas recobertas com Q3 e Q5, foram observados menores valores. O uso de recobrimentos comestíveis em cenoura roxa se mostra eficiente como técnica pós-colheita para preservação da qualidade comercial. Recobrimento a base de quitosana a 3%, aliada a alta umidade relativa e a baixa temperatura durante o armazenamento, é mais eficiente para manter a qualidade de cenouras roxas e proporciona aumento da vida útil em 15 dias, em relação ao tratamento controle.

Palavras-chave: Daucus carota L.; Quitosana; Cera de carnaúba; Compostos bioativos

Abstract

Edible coating on conservation of commercial quality and bioactive compounds of purple carrot

The objective was to evaluate the use of different concentrations of coatings based on chitosan and carnauba wax, in the conservation of purple carrots. 'Deep Purple' carrots were submitted to six treatments: 1%, 3% and 5% of chitosan (Q1, Q3 and Q5, respectively); 0.5% and 1% carnauba wax (CC0.5 and CC1, respectively) and control treatment, without recoating. After application, carrots were stored at 2°C, 95-100% RH, for 90 days, being evaluated on the day of application (day 0) and at 7, 15, 30, 45, 60, 75 and 90 days. For the polyphenols, the analyzes occurred on days 0, 15 and on the last day of each treatment. The experimental design was completely randomized in a factorial scheme 7x8 (treatments x days of analysis), with 5 replicates

for analysis of appearance, fresh weight loss, wilting index, coloration and respiratory rate, and 3 replicates for the analysis of soluble solids, total phenolics compounds, anthocyanins, total flavonols and antioxidant capacity and 7x3 (treatment x days of analysis), with 3 replicates for the polyphenols. Wilting symptoms were first observed in carrots with CC1, followed by Q1, control, CC0.5, Q5 and Q3, with the latter also showing greater turgescence maintenance and lower fresh weight loss during storage. Carrots treated with Q3 exhibited the lowest respiratory rate, whereas carrots with CC1 showed the highest respiratory rate. The soluble solids content showed little variation (<1%) throughout the storage, regardless of the treatment applied. The content of total phenolic compounds, anthocyanins and flavonols oscillated throughout the storage for all treatments. There was a reduction of the antioxidant capacity only for the control carrots, while for carrots with coating, independent of the base raw material and the concentration, an increase in capacity was verified with storage. Carrots with Q1, CC0,5 and CC1 showed the highest values of polyphenols, whereas in the control carrots and those covered with Q3 and Q5, lower values were observed. The use of edible coatings in purple carrots is efficient as a postharvest technique for the preservation of commercial quality. Chitosan based coating, in 3%, combined with high relative humidity and low temperature during storage, is more efficient to maintain the quality of purple carrots and increases shelf life by 15 days compared to control treatment.

Keyword: Daucus carota L.; Chitosan; Carnauba wax; Bioactive compounds

4.1. Introdução

A senescência dos produtos hortícolas não pode ser evitada e os processos metabólicos que ocorrem degradam sua qualidade. Entretanto, o uso de tecnologias póscolheita pode retardar esse processo, fazendo com que a vida útil do produto seja maior. Como vistos em trabalhos anteriores, a redução da perda da umidade e da transpiração são aspectos chaves para a preservação de qualidade comercial de cenouras durante o armazenamento, uma vez que influenciam diretamente no valor e aceitação comercial e nos aspectos sensoriais do produto. Também, a qualidade funcional é afetada pelas transformações que ocorrem decorrentes dos processos fisiológicos, degradando compostos de interesse ao longo do armazenamento e reduzindo seu valor nutricional.

Cenouras roxas possuem mais atrativos que cenouras de outras colorações: além de maiores quantidades de compostos fenólicos, têm altas concentrações de antocianinas e flavonóis (Alasalvar et al., 2001; Nicolle et al., 2004; Alasalvar et al., 2005; Sun et al., 2009; Singh et al., 2012). Outra característica está no aspecto sensorial, visto que cenouras roxas possuem doçura e crocância superior e menor sabor amargo que a variedade laranja (Alasalvar et al., 2001; Surles et al., 2004), fatores que podem embasar o aumento do seu consumo.

Sabe-se que cenouras roxas apresentam baixa espectativa de armazenamento (IPGRI, 1998), o que faz com que o uso de técnicas pós-colheita para a conservação delas seja fortemente incentivado. Entretanto, estudos nessa área ainda são escassos.

Revestimentos comestíveis são considerados as embalagens do futuro e podem auxiliar na redução de perdas por murchamento. Estes são definidos como finas camadas de biopolímeros comestíveis, a base de proteínas, polissacarídeos ou lipídeos, que são aplicados diretamente no alimento, aderindo-se a ele e considerados como parte do produto final. A aplicação destes materiais cria uma barreira contra danos físicos, contaminação microbiológica, perda ou ganho de umidade e oxidação de nutrientes, o que auxilia a prevenir a deterioração do produto, estendendo a sua vida útil, com manutenção da qualidade sensorial e a segurança do alimento. O diferencial destes revestimentos em relação às embalagens convencionais é o fato de serem comestíveis e biodegradáveis, podendo substituir parcial ou totalmente o seu uso (Debeaufort *et al.*, 1998; Lacroix e Le Tien, 2005).

A quitosana é uma opção entre os revestimentos de polissacarídeos não-amiláceos, sendo produzido a partir da desacetilação alcalina da quitina, um polissacarídeo presente no exoesqueleto de crustáceos. Além das propriedades comuns aos revestimentos, a película gerada pela quitosana propicia boa barreira ao oxigênio, mas não eficiente para o dióxido de carbono, auxilia no controle do escurecimento enzimático, ação antimicrobiana e possui capacidade de absorver íons de metais pesados. Tais propriedades contribuem para diminuir o processo de oxidação catalisado por metais livres e retardar as mudanças no conteúdo de antocianinas, flavonoides e fenólicos totais (Lacroix e Le Tien, 2005; Nieto, 2009; Dhall, 2013).

Entre os revestimentos lipídicos, destacam-se as ceras naturais como a de carnaúba, classificadas quimicamente como ésteres de ácidos alifáticos de cadeia longa. Por ser um composto apolar, é uma eficiente barreira à transferência do vapor de água. A cera de carnaúba possui propriedades emulsionante, lubrificante, plastificante e aglutinante melhores que as demais ceras, além de maior permeabilidade ao O₂. Também, melhora a aparência do alimento, ao conferir brilho e melhorar a sua textura superficial (Rhim e Shellhammer, 2005).

Este trabalho buscou avaliar o uso de diferentes concentrações de dois tipos de revestimento comestíveis, sendo um a base de quitosana e o outro a base de cera de

carnaúba, na conservação dos compostos bioativos presentes nas raízes de cenoura roxa, bem como na preservação da qualidade comercial dessa hortaliça. O presente estudo poderá contribuir para o aumento do conhecimento sobre essa variedade tão pouco explorada, além de fornecer informações sobre a manutenção da qualidade da cenoura roxa, evitando perdas, inclusive as nutricionais, durante sua cadeia produtiva e garantindo que o produto chegue ao consumidor em perfeitas condições de consumo.

4.2. Material e Métodos

4.2.1. Reagentes químicos

Folin-Ciocalteau, ácido acético, ABTS [(2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico)], Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico) e os reagentes e padrões utilizados em UPLC foram obtidos da Sigma-Aldrich (São Paulo, Brasil). Ácido gálico foi proveniente da Dinâmica Química Contemporânea Ltda (São Paulo, Brasil). Carbonato de sódio, metanol, ácido clorídrico e glicerol foram obtidos da Labsynth (São Paulo, Brasil). A quitosana utilizada foi obtida marca Nutrifarm do Brasil (São Paulo, Brasil, lote QUISO1/0415), com grau de desacetilação entre 60 e 70% e baixo peso molecular. Cera de cera de carnaúba e resina vegetal (colofônia) obtida da Aruá Comércio e Serviço Ltda (São Paulo, Brasil), linha BR12, na concentração 12% (p:v).

4.2.2. Material vegetal e descrição experimental

Cenouras roxas 'Deep Purple', produzidas no município de Araçoiaba da Serra (SP) (23° 30' 19" S e 47° 36' 51" W, 625 m de altitude), foram colhidas, selecionadas, classificadas por tamanho (15 a 20 cm de comprimento) e acondicionadas em contentores plásticos, com 20 kg de capacidade. As cenouras foram armazenadas durante um dia a 1°C e 95% de UR, no produtor, sendo transportadas para o Laboratório de Fisiologia e Bioquímica Pós-colheita no dia seguinte, onde passaram por uma nova seleção para a homogeneização do lote.

Cenouras foram submetidas aos seguintes tratamentos: quitosana nas concentrações de 1%, 3% e 5% (Q1, Q3 e Q5, respectivamente); e cera de carnaúba nas concentrações de 0,5% e 1% (CC0,5 e CC1, respectivamente). O tratamento controle não

recebeu aplicação de recobrimento. Após a aplicação e secagem completa dos recobrimentos, as cenouras foram armazenadas a 2°C e 95-100% UR, por 90 dias. As análises foram realizadas no dia da chegada das cenouras ao laboratório (dia 0) e aos 7, 15, 30, 45, 60, 75 e 90 dias.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 6 x 8 (tratamentos x período de análises), com exceção para o perfil de polifenóis, cujo esquema fatorial foi 6 x 3 (tratamentos x período de análises). Para as análises não destrutivas (perda de massa, coloração, notas de murchamento e taxa respiratória) foram utilizadas cinco repetições composta por sete cenouras ou 500 g cada. Para as análises destrutivas (sólidos solúveis, compostos fenólicos, flavonóis totais, antocianinas, capacidade antioxidante e perfil de polifenóis) foram utilizadas três repetições composta por sete cenouras ou 500 g cada.

4.2.2.1. Recobrimento de quitosana

O recobrimento a base de quitosana foi preparado nas concentrações de 1%, 3% e 5%, totalizando 7 L de solução para cada concentração. Para o preparo, foram pesados 70 g, 210 g e 350 g de quitosana para as concentrações de 1%, 3% e 5%, respectivamente. A quitosana foi dissolvida em 1 L de solução de ácido acético 8% em chapa aquecedora sob agitação constante por aproximadamente 3 horas, adicionando um total de 1,6 L de água destilada para auxiliar na dissolução. Após o resfriamento, a solução foi filtrada primeiramente em algodão e, posteriormente, em papel filtro qualitativo (80 g m⁻², 205 μm espessura e poros com 14 μm de diâmetro) (Figura 15). O volume foi completado para 7 litros com a adição de água destilada e o pH corrigido para 5,7, mediante titulação com solução de NaOH 5N. Foram adicionados também 70 mL de glicerol (1%, v:v), o qual atuou como plastificante.

Para a aplicação do recobrimento, as cenouras ficaram submersas por 5 minutos nas respectivas soluções em diferentes caixas plásticas (Figura 15). Após, as cenouras recobertas foram depositadas em prateleiras vazadas forradas com papel absorvente até a secagem completa do recobrimento e, em seguida, as cenouras foram acondicionadas em contentores plásticos (20 kg de capacidade) e armazenadas em câmara a 2°C e 95-100% UR.

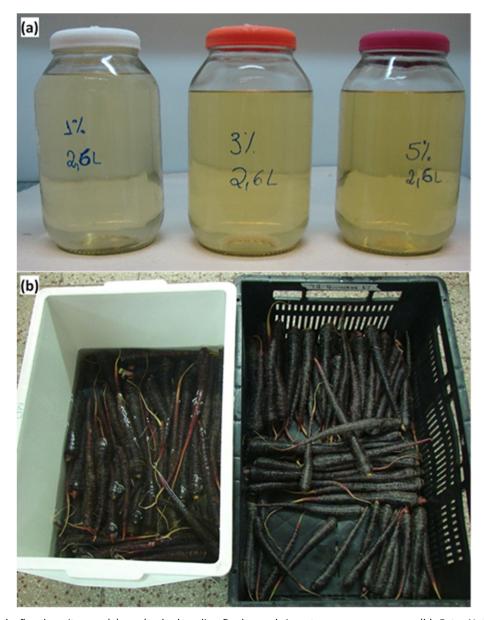


Figura 15. Soluções de quitosana (a) e método de aplicação do recobrimento em cenouras roxas (b). Foto: Natalia Dallocca Berno, 2015.

4.2.2.2. Cera de Carnaúba

Foi utilizado 1 L de solução para cada concentração da cera de carnaúba obtida a partir da diluição da cera comercialmente adquirida (cera de carnaúba 12%). A aplicação da cera foi realizada espalhando-a delicadamente sobre toda a superfície das cenouras com o auxílio de algodão embebido na solução, observando a aplicação completa da cera em toda superfície do vegetal. Após, as cenouras recobertas foram depositadas em prateleiras vazadas forradas com papel absorvente até a secagem completa do recobrimento (Figura

16) e em seguida, as cenouras foram transferias para contentores plásticos (20 kg de capacidade) e armazenadas em câmara fria a 2°C e 95-100% de UR.



Figura 16. Solução de cera de carnaúba e colofônia 12% (a) e secagem de cenouras recobertas com cera em papel absorvente (b). Foto: Natalia Dallocca Berno, 2015.

4.2.3. Determinações

4.2.3.1. Análises visuais, físico-químicas e taxa respiratória

O índice de murchamento foi realizado por meio de atribuição de notas visuais, dadas sempre pelo mesmo analista, com notas variando de 1 a 4, sendo 1 = raízes turgidas; 2 = raízes com leve sintoma de murchamento; 3 = raízes murchas; 4 = raízes extremamente murchas. O número de cenouras em cada nota foi transformado em porcentagem, sendo o resultado expresso em porcentagem de cenoura em cada nota. O período de vida útil das cenouras foi determinado por meio desta análise, sendo ponto máximo de comercialização atingido quando não houvesse mais cenouras classificadas com nota 1.

A perda de massa fresca foi determinada por pesagem das raízes na caracterização e ao longo do armazenamento, sendo o resultado em relação à massa inicial e expressa em porcentagem de massa fresca perdida.

O teor de sólidos solúveis foi medido por meio da leitura direta em refratômetro digital de mesa, marca Atago, modelo Palete 101, utilizando suco extraído da raiz triturada em centrífuga doméstica. Os resultados foram expressos em % (AOAC, 2010).

Para a coloração foi utilizado o equipamento MINOLTA CHROMA METER CR-400, determinando-se os valores de Luminosidade (L*), cromaticidade (C) e ângulo de cor (°h) (Minolta, 1994). Foram realizadas três leituras na parte externa de cada cenoura com a periderme, sendo uma na parte superior, uma na parte mediana e outra na parte inferior, em uma mesma raiz.

Para a determinação da taxa respiratória, 6 a 7 cenouras foram colocadas em frascos herméticos de vidro com capacidade de 2,5 litros. Após decorrer 1 hora com os frascos fechados, foi retirado 0,5 mL de amostra de gás, com uma seringa de 1 mL, através de um septo de silicone colocado nas tampas dos frascos. Cada amostra coletada foi injetada em cromatógrafo a gás (marca Thermo Electron Corporation, modelo Trace GC Ultra) equipado com dois detectores de ionização de chama (FID), tendo hitrogênio como gás de arraste a um fluxo de 30 mL min⁻¹. As temperaturas utilizadas foram de 110°C na coluna, 140°C no injetor, 250°C no detector e 350°C no metanador. Os resultados foram calculados com base nas determinações cromatográficas, massa das cenouras e tempo que os frascos permaneceram fechados. Os resultados foram expressos em mL CO₂ kg⁻¹ h⁻¹.

4.2.3.2. Análises bioquímicas

Para as análises de compostos fenólicos totais e capacidade antioxidante, foi realizado um extrato comum, preparado com 40 mg de amostra liofilizada de cenoura roxa e 10 mL de metanol 80% (v:v), seguido de armazenamento sob refrigeração e ao abrigo da luz por 24h, para a completa extração. Após esse período, houve centrifugação por 10 minutos a 3622 x g e 4°C, separando-se o sobrenadante em frascos âmbar, seguido de armazenamento a -21°C até a quantificação.

Os compostos fenólicos totais foram determinados pelo método desenvolvido por Singleton e Rossi (1965), com modificações. Adicionou-se 200 μ L do extrato a 1,5 mL de água destilada em tubos de ensaio, seguido de 100 μ L de Folin-Ciocalteau P.A. e agitação em vórtex. Decorridos 5 minutos, foram adicionados 200 μ L de carbonato de sódio a 20% (v:v) nos tubos, os quais foram agitados e incubados por duas horas no escuro, em temperatura

ambiente. A absorbância foi lida em espectrofotômetro, a 765 nm. O teor de fenólicos foi calculado utilizando-se curva padrão com ácido gálico (0-20 μ L) e os resultados expressos em mg AGE (ácido gálico equivalente) g⁻¹ matéria seca.

A capacidade antioxidante foi realizada pelo método ABTS [(2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico)], segundo de descrito por Re et al. (1999). Os resultados foram calculados por meio de curva padrão com Trolox (6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromo-2-ácido carboxílico) (0-20 μ M), sendo expressos em mM TE (Trolox equivalente) g⁻¹ matéria seca.

A quantificação de antocianinas e de flavonóis totais foi realizada conforme Lees e Francis (1972), com modificações na quantidade de amostra utilizada de 100 g para 500 mg de cenoura roxa liofilizada e 20 mL de solução extratora de etanol a 95% e HCl a 1,5 N (85:15 v/v). Ambas as quantificações foram expressas em mg g⁻¹ matéria seca.

Para o perfil de polifenóis, as análises foram realizadas no dia 0 (início), após 15 dias de armazenamento e no último dia de armazenamento de cada tratamento (final), sendo 75º, 60º, 90º, 90º, 75º e 30º dia para os tratamentos controle, quitosana 1%, quitosana 3%, quitosana 5%, cera de carnaúba 0,5% e cera de carnaúba 1%, respectivamente. Foi utilizada cromatografia líquida de ultra performance (UPLC), em equipamento Thermo Scientific™ UltiMate™ 3000 BioRS com detector fotodiodo, em coluna C18 (2,2 um, 2,1 x 50 mm) (Acclaim™ RSLC 120, Thermo Scientific™, EUA) pelo método proposto por Natividade et al. (2013) com adaptações. Na extração foram pesados 200 mg de amostra liofilizada e extraídos com três lavagens com metanol acidificado (80 metanol : 1 ácido acético : 19 água; v:v:v), sendo a primeira com 3 mL e as duas seguintes com 2,5 mL. A primeira lavagem foi realizada com agitação durante 1 min, seguido de encubação em banho ultrassônico por uma hora. Nas lavagens seguintes os extratos foram agitados em vórtex por 1 min. Após, as amostras foram, centrifugadas por 10 minutos a 1233 x q a 4 $^{\circ}$ C e o sobrenadante coletado. A cada ciclo de reextração da matriz, as coletas dos sobrenadantes foram unidas e posteriormente filtradas em PVDF poro de 0,45 μm, sendo armazenado em frascos âmbar. Para a quantificação, a fase móvel consistiu em (A) ácido fosfórico 0,85% e (B) acetonitrila 100%. O gradiente usado foi: 0-2,5 min, A 96%; 2,5-7,5 min, A 92%; 7,5-15 min, A 88%; 15-18 min, A 85%; 18-20 min, A 80%; 20-31 min, A 75%; 21-22 min, A 65%; 22-24 min, A 35%; 24-25 min, A 96%. A injeção por amostra foi de 20 μL e a temperatura da coluna foi mantida a 39°C, com fluxo de 0.8 mL min-1. Foram utilizados os comprimentos de onda 280 nm, 320 nm

e 360 nm, compreendendo os espectros de absorção para ácidos hidroxibenzóicos, hidroxicinâmicos e flavonoides, respectivamente. Os resultados foram expressos em μg g⁻¹ matéria seca. Os padrões utilizados se encontram na tabela abaixo.

Tabela 5. Padrões de polifenóis, tempo de retenção e UV visível utilizados.

Composto	Nome científico	Tempo de retenção (min)	UV visível - absorção máxima (nm)
Acido Gálico	3,4,5-Trihydroxybenzoic acid	0,747	280
Catequina	trans-3-3'-4'-5-7-Pentahydroxy flavane	4,273	280
Acido Cafeico	3,4-Dihydroxybenzeneacrylic acid	4,290	320
Acido Clorogênico	3-(3,4-Dihydroxycinnamoyl) quinic acid	5,030	320
Acido p-cumárico	trans-4-Hydroxycinnamic acid	5,970	320
Acido trans-ferúlico	trans-4-Hydroxy-3-methoxycinnamic acid	7,917	320
Rutina	quercetin-3-rutinoside hydrate	13,710	360
Acido trans-cinamico	trans-3-Phenylacrilic acid	13,967	280
Quercetina	3,3′,4′,5,6-Pentahydroxyflavone	20,057	360

4.2.4. Análise estatística

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey (P≥0,05), pelo software estatístico SAS, versão 9.2 (SAS Institute, Cary, NC, USA).

4.3. Resultados

4.3.1. Recobrimento a base de quitosana retarda perdas na aparência e prolonga a vida útil de cenouras roxas

A eficiência do uso de recobrimento comestível na manutenção da qualidade de cenouras roxas pode ser avaliada observando, primeiramente, a aparência do produto, por meio do índice de murchamento e perda de matéria fresca, e também pela sua influência nos aspectos fisiológicos, pela taxa respiratória e teor de sólidos solúveis.

Sintomas de murchamento foram observados a partir do 15º dia, em todos os tratamentos, entretanto, para o Q1 e para o CC1, houve maior porcentagem de cenouras

com notas 2 e 3 e menor número de cenouras túrgidas, tendo apenas 20% e 7%, respectivamente, de cenouras sem sintomas (Figura 17). No 30º dia, os tratamentos Q1 e CC1 começaram a apresentar cenouras classificadas na nota 4, sendo que para o CC1, não havia mais cenouras túrgidas e, portanto, foi descartado. Cenouras com CC1 apresentaram, conjuntamente ao murchamento, manchas e superfície viscosa, bem como leves depressões superficiais, decorrentes da interação da cera com a periderme, danificando a aparência do produto. A partir do 45º dia, surgiu agrupamento nos resultados: cenouras controle e Q1, mantiveram o comportamento semelhante, com menor porcentagem de com nota 1; cenouras com Q5 e CC0,5, com notas próximas; e cenouras Q3, que se destacaram das demais com as melhores notas. No 60º dia, cenouras Q1 foram descartadas por não apresentarem mais cenouras túrgidas, ocorrendo o mesmo para os tratamentos controle e CC0,5 no 75º dia. No último dia de avaliação, apenas o Q3 apresentou maior manutenção da turgescência, apresentando 33% ainda de cenouras túrgidas, contra apenas 7% do verificado para Q5.

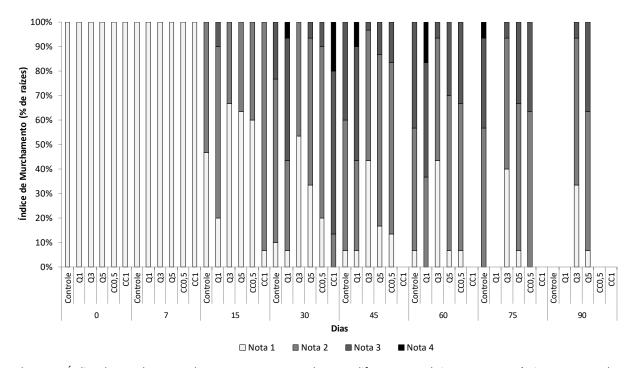


Figura 17. Índice de murchamento de cenouras roxas tratadas com diferentes recobrimentos comestíveis e armazenadas por 90 dias a 2°C e 95-100% UR. Q1: quitosana 1%; Q3: quitosana 3%; Q5: quitosana 5%; CC0,5: cera de carnaúba 0,5%; CC1: cera de carnaúba 1%. Notas: 1 = raízes turgidas; 2 = raízes com leve sintoma de murchamento; 3 = raízes murchas; 4 = raízes extremamente murchas (n=5).

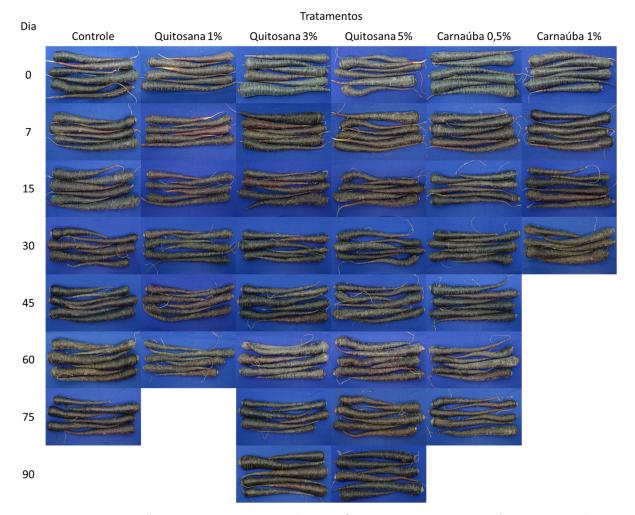


Figura 18. Evolução da aparência de cenouras roxas tratadas com diferentes recobrimentos comestíveis e armazenadas por 90 dias a 2°C e 95-100% UR. Foto: Natalia Dallocca Berno, 2015.

Apesar de transparentes, foi possível observar que as cenouras recobertas exibiram uma fina camada do material na superfície, formando uma película ao redor. Em fotos tiradas com o auxílio de lupa pôde-se verificar que as cenouras possuíam periderme desuniforme, com grandes falhas (Figura 19). Nessas falhas observou-se a superfície brilhante, evidenciando que o recobrimento havia sido espalhado por toda a raiz, independentemente do modo de aplicação.



Figura 19. Detalhe de cenoura roxa com diferentes recobrimentos comestíveis após 15 dias de armazenamento a 2°C e 95-100% UR. Q1: quitosana 1%; Q3: quitosana 3%; Q5: quitosana 5%; CC0,5: cera de carnaúba 0,5%; CC1: cera de carnaúba 1%. Foto: Magda Andrea Tessmer, 2015.

Os resultados obtidos para o índice de murchamento se correlacionam com os dados da perda de matéria fresca, na qual é possível visualizar a eficiência da quitosana em manter cenouras túrgidas por mais tempo. Todos os tratamentos perderam matéria fresca ao longo do armazenamento, contudo, cenouras com Q1 e CC1 apresentaram perdas maiores que 6% no 15º dia, valor duas vezes maior que os observados para os demais tratamentos no mesmo período e superando as perdas verificadas em cenouras do controle (Figura 20). Ao final do armazenamento, cenouras com Q1 acumularam 15,6% de perda, sendo este o maior valor. Tratamentos controle, Q5 e CC0,5 não apresentaram diferenças entre si, mantendo comportamento semelhante. Cenouras com Q3 exibiram os menores valores desde o 15º dia, permanecendo com perdas menores todos os períodos de análises; ao final, acumulou perda de 7,7%, valores alcançados por outros tratamentos logo após o primeiro mês de armazenamento. Recobrimento de Q3 promoveu a menor perda de matéria fresca entre os tratamentos, diminuindo o índice de murchamento causado pela perda da umidade do vegetal.

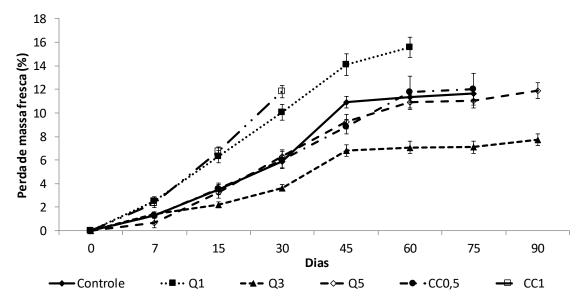


Figura 20. Perda de matéria fresca de cenouras roxas tratadas com diferentes recobrimentos comestíveis e armazenadas por 90 dias a 2°C e 95-100% UR. Q1: quitosana 1%; Q3: quitosana 3%; Q5: quitosana 5%; CC0,5: cera de carnaúba 0,5%; CC1: cera de carnaúba 1%. Barras verticais representam o erro padrão da média (n=5).

A coloração de cenouras roxas com recobrimento comestível demonstrou influência dos dias de armazenamento e dos tratamentos aplicados. Para a luminosidade, houve redução nos valores médios ao longo do período, bem como diferença entre os tratamentos, tendo as cenouras com Q1 e com CC1 as maiores luminosidades, CC0,5 a menor e tratamentos controle, Q3 e Q5 valores intermediários (Figura 21a). Foi verificado aumento durante o armazenamento para a cromaticidade, tendo no 60º dia o maior valor na média (Figura 21b). Cenouras tratadas com Q1 apresentaram os maiores valores médios para cromaticidade, seguidos das cenouras controle, Q3 e Q5; cenoura com cera de carnaúba, independente da dose, apresentaram as menores saturações. Também se observou aumento no ângulo de cor com o passar dos dias, apresentando maior valor no 60º dia (Figura 21c). Cenouras recobertas com Q1, CC0,5 e CC1 tiveram os maiores ângulos, e o controle o menor valor médio. Q3 e Q5 apresentaram valores médios intermediários de ângulo de cor.

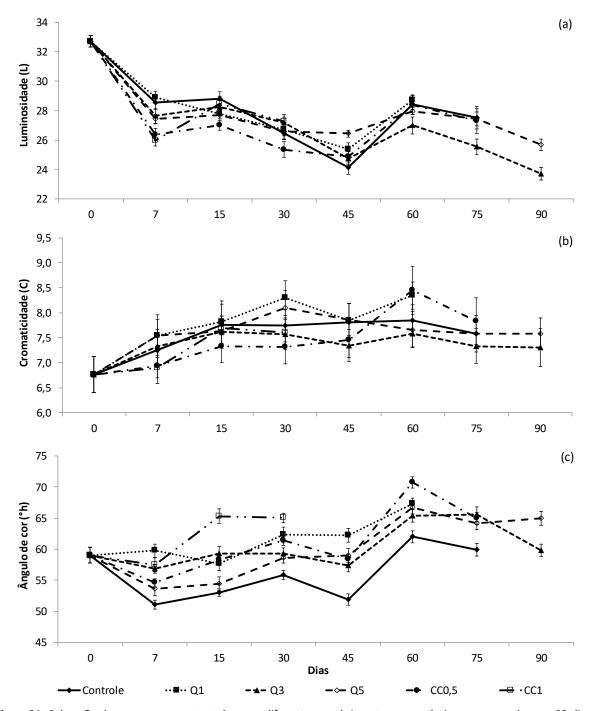


Figura 21. Coloração de cenouras roxas tratadas com diferentes recobrimentos comestíveis e armazenadas por 90 dias a 2°C e 95-100% UR. Q1: quitosana 1%; Q3: quitosana 3%; Q5: quitosana 5%; CC0,5: cera de carnaúba 0,5%; CC1: cera de carnaúba 1%. Barras verticais representam o erro padrão da média (n=5).

A taxa respiratória reduziu do início para o fim do armazenamento em todos os tratamentos (Figura 22a), com a maior queda advinda dos sete primeiros dias de armazenamento. Houve oscilação na taxa respiratória ao longo do armazenamento para todos os tratamentos, sendo que cenouras com CC1 apresentaram aumento no 30º dia, Q5 tiveram a maior taxa no 45º dia, e os demais, no 60º dia. Após essa elevação, a taxa

respiratória se tornou mais uniforme entre os tratamentos. Na média, cenouras tratadas com Q3 exibiram a menor taxa respiratória, de 19,79 mL CO_2 kg⁻¹ h⁻¹, sendo menor que a verificada para cenouras controle (20,74 mL CO_2 kg⁻¹ h⁻¹), e cenouras com CC1 a maior taxa, de 26,35 mL CO_2 kg⁻¹ h⁻¹.

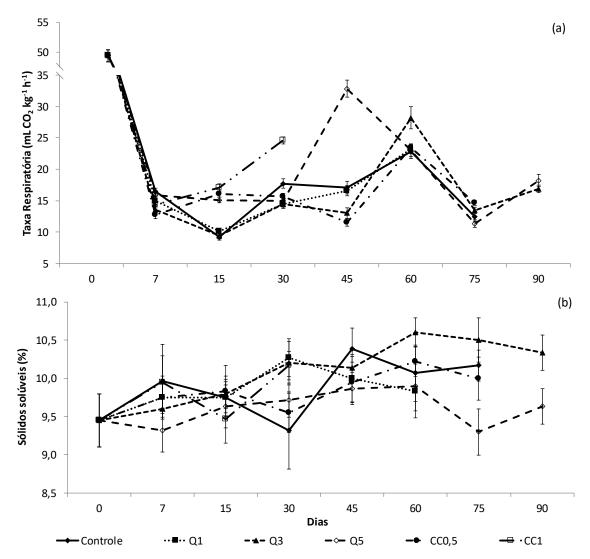


Figura 22. Taxa respiratória (a) e teor de sólidos solúveis (b) em cenouras roxas tratadas com diferentes recobrimentos comestíveis e armazenadas por 90 dias a 2°C e 95-100% UR. Q1: quitosana 1%; Q3: quitosana 3%; Q5: quitosana 5%; CC0,5: cera de carnaúba 0,5%; CC1: cera de carnaúba 1%. Barras verticais representam o erro padrão da média (Taxa respiratória: n=5; Sólidos solúveis n=3).

O teor de sólidos solúveis demonstrou pouca variação ao longo do armazamento, independente do tratamento aplicado. Cenouras controle e recobertas com Q3 mostraram leve tendência de aumento no final do período (Figura 22b). Os demais tratamentos não apresentaram variação significativa durante a vida útil. Entre os tratamentos, apenas no 75º dia foi verificada diferença significativa nos sólidos solúveis, com cenouras controle e

tratadas com Q3 tendo os maiores valores e as cenouras com Q5 a menor concentração desses sólidos. Durante todo o período analisado, a diferença do maior teor (Q3, no 60º dia) com o menor (Q5, no 75º dia), foi abaixo de 1%, o que é imperceptível ao paladar humano.

4.3.2. Recobrimento de quitosana auxilia na manutenção dos compostos bioquímicos de interesse em cenouras roxas

O uso de recobrimento comestível interfere diretamente no metabolismo dos vegetais, por dificultar as trocas gasosas e, assim, modificar a atmosfera interna das células. O monitoramento dos compostos bioquímicos nas cenouras roxas auxilia no entendimento do metabolismo alterado, além de verificar se os tratamentos utilizados são capazes de manter a qualidade nutricional dessa hortaliça durante a vida útil.

O conteúdo de compostos fenólicos totais (CFT) oscilou ao longo do armazenamento para todos os tratamentos, alternando picos de concentração entre os dias de análise (Figura 23a). Cenouras controle e com CCO,5 apresentaram valores iniciais e finais equivalentes, com picos no 30º dia, para controle, e 15º e 60º dia, para CCO,5. Foi verificado aumento nos CFT para cenouras recobertas com quitosana no dia 15º, 30º e 7º, para Q1, Q3 e Q5, respectivamente, seguido de redução nos dias subsequentes, com aumento após, até o final do armazenamento. Cenouras tratadas com CC1 mostraram aumento no CFT durante o período. De forma geral, cenouras com Q5 exibiram o maior valor médio de CFT e CC1 o menor valor médio.

A concentração de antocianinas foi influenciada pelo tipo de tratamento utilizado e pelos dias de armazenamento. Cenouras controle e recobertas com CC0,5 apresentaram redução no conteúdo, de 24%, 11%, do início para o fim do período, respectivamente (Figura 23b). Raízes tratadas com Q1, Q5 e CC1 mantiveram as mesmas concentrações de antocianinas no início e no fim do armazenamento. Foi verificado aumento com o passar dos dias para cenouras com Q3, de 14% da caracterização para o 90º dia. Ainda, cenouras com quitosana apresentaram os maiores valores médios, com pico de produção no 60º e no 7º dia, para Q3 e Q5, respectivamente.

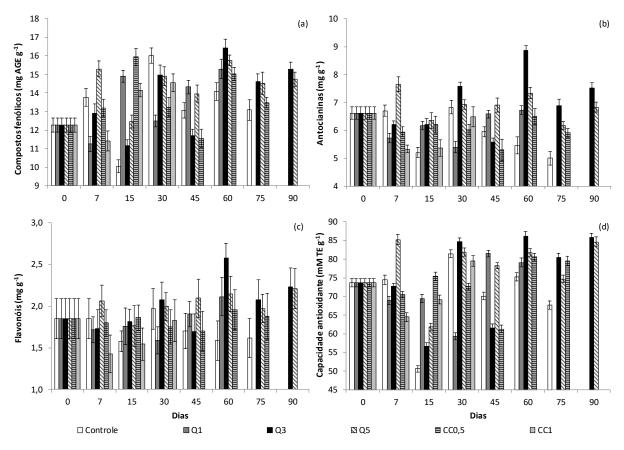


Figura 23. Compostos fenólicos totais (a), antocianinas (b), flavonóis totais (c) e capacidade antioxidante (d) de cenouras roxas tratadas com diferentes recobrimentos comestíveis e armazenadas por 90 dias a 2°C e 95-100% UR. Q1: quitosana 1%; Q3: quitosana 3%; Q5: quitosana 5%; CC0,5: cera de carnaúba 0,5%; CC1: cera de carnaúba 1%. Barras verticais representam o erro padrão da média (n=3). AGE = ácido gálico equivalente. TE = trolox equivalente.

Flavonóis totais tiveram seus valores afetados pelos tratamentos aplicados. Cenouras recobertas com cera de carnaúba, independente da concentração utilizada, não apresentaram diferença significativa durante o armazenamento (Figura 23c). Cenouras do controle e com Q1 e Q5 mantiveram os valores iniciais ao final da vida útil, com maiores valores alcançados nos dias 30, 60 e 90, respectivamente. Para cenouras com Q3, foi observado incremento de 21% no conteúdo de flavonóis, do início ao fim do armazenamento. Os tratamentos de Q3 e Q5 resultaram nos maiores valores médios, ambos com 2,0 mg g⁻¹.

Houve redução da capacidade antioxidante apenas para as cenouras controle, enquanto que para cenouras com recobrimento, independente da matéria-prima base e da concentração, foi verificado aumento na capacidade com o decorrer do armazenamento (Figura 23d). De maneira geral, cenouras com Q5 apresentaram a maior capacidade antioxidante média e cenouras controle a menor.

4.3.3. Perfil de polifenóis de cenouras roxa

As mudanças ocorridas em decorrência da modificação da atmosfera interna das células podem influenciar a composição dos polifenóis. Dessa forma, o acompanhamento do perfil dos polifenóis pode auxiliar no entendimento do metabolismo da cenoura roxa.

O conteúdo de polifenóis encontrados representam entre 40% e 48% do total de compostos fenólicos encontrados nas cenouras roxas (Tabela 6). O ácido clorogênico corresponde ao principal polifenol da cenoura roxa, com quantidade que variam de 79% a 83% em média, dependendo do tratamento aplicado. Catequina, rutina, ácido gálico, ácido trans-ferúlico e quercetina, perfazem juntos uma média de 19% do total de polifenóis, e ácido *p*-cumárico, ácido cafeico e ácido trans-cinâmico, correspondem a 0,6% dos polifenóis, em média.

Tabela 6. Valores médios de compostos fenólicos totais, antocianinas, flavonóis e polifenóis de cenouras roxas tratadas com diferentes recobrimentos comestíveis e armazenadas por 90 dias a 2°C e 95-100% UR.

			Tratam	nentos		
Composto (µg g ⁻¹)	Controle	Quitosana 1%	Quitosana 3%	Quitosana 5%	Carnaúba 0,5%	Carnaúba 1%
Compostos fenólicos	13188,7 bc	13426,9 bc	13662,7 b	14237,8 a	13526,0 bc	13100,1 c
Antocianinas	5968,6 c	6201,0 b	6933,6 a	6849,7 a	6072,0 bc	5951,2 c
Flavonois	1736,0 bc	1822,5 b	2007,3 a	2011,8 a	1827,7 b	1663,0 c
Polifenóis totais *	5312,0 d	6414,2 ab	5626,1 c	5728,1 c	6480,4 a	6320,3 b
Ácido clorogênico	4192,7 d	5169,4 b	4493,6 c	4532,4 c	5336,0 a	5247,6 ab
Catequina	387,5 b	516,3 a	403,5 ab	476,8 ab	412,6 ab	357,8 b
Rutina	332,9 c	337,2 b	336,7 b	333,9 c	338,9 a	337,8 ab
Ácido Gálico	184,1 a	169,8 ab	171,4 ab	163,9 b	164,4 b	157,6 b
Ácido trans-ferúlico	118,8 b	118,8 b	118,9 ab	119,3 a	119,0 ab	119,0 ab
Quercetina	69,1 ab	69,2 ab	69,2 ab	69,3 a	69,2 ab	69,1 b
Ácido p-cumárico	22,7 d	28,0 b	27,4 bc	26,7 c	33,0 a	27,1 bc
Ácido cafeico	3,8 f	4,9 c	4,8 e	5,5 b	6,8 a	4,1 d
Ácido trans-cinâmico	0,3 c	0,6 a	0,6 a	0,5 bc	0,5 ab	0,4 bc

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05) (n=3). * Somatória dos polifenóis quantificados.

Houve variação nos polifenóis com o tipo recobrimento aplicado. Cenouras com Q1, CC0,5 e CC1 apresentaram os maiores valores médios de polifenóis, com 6,41; 6,48 e 6,32 mg g⁻¹, respectivamente, enquanto que nas cenouras controle e naquelas recobertas com Q3 e Q5, foram observados médias de 5,3; 5,6 e 5,7 mg g⁻¹, respectivamente (Tabela 6).

Cenouras do controle exibiram os menores valores médios para ácido clorogênico, rutina, ácido *p*-cumárico, ácido cafeico e ácido trans-cinâmico, tendo apenas a maior média para o ácido gálico (Tabela 6). O recobrimento a base de quitosana proporcionou os maiores valores médios de catequina (cenouras com Q1), ácido trans-cinâmico (cenouras com Q1 e Q3), ácido ferúlico e quercetina (cenouras com Q5). Raízes com Q3 e Q5 manifestaram valores intermediários na maioria dos polifenóis. Cenouras tratadas com CC0,5 demonstraram os maiores valores para ácido clorogênico, rutina, ácido *p*-cumárico e ácido cafeico, enquanto que para aquelas tratadas com CC1, houve os menores valores médios de catequina, ácido gálico e quercetina.

Com o decorrer do armazenamento, houve maiores variações no teor de ácido clorogênico, catequina, ácido gálico, ácido p-cumárico, ácido cafeico e ácido trans-cinâmico. Houve redução no conteúdo de ácido clorogênico para as cenouras controle e com Q5 e aumento para aquelas com Q3; cenouras com Q1 e as recobertas com cera de carnaúba mantiveram os valores finais sem diferença estatística dos iniciais (Figura 24). Para catequina, foi verificado aumento de 80% nas cenouras com Q5, do início para o fim do período; cenouras controle, com Q3 e CC0,5 tiveram redução nos valores após 15 dias, mas ao final do armazenamento, os mesmos voltaram aos patamares iniciais, e os demais tratamentos não apresentaram variação. O teor de ácido gálico foi reduzido em todos os tratamentos com o decorrer da vida útil, com exceção para as cenouras com Q3, nas quais o valor final não diferiu do inicial. Os valores iniciais e finais de ácido trans-cinâmico não apresentaram diferença para as cenouras dos tratamentos controle, Q3, Q5 e CC1, enquanto que para os demais, houve aumento no seu conteúdo. Todos os tratamentos exibiram aumento no conteúdo de ácido p-cumárico e ácido cafeico com o decorrer do armazenamento, sendo, no primeiro caso, mais significativo para cenouras com Q3, valor 2 vezes maior, e no segundo caso, para cenouras com CC0,5, com elevação de 4,5 vezes no teor.

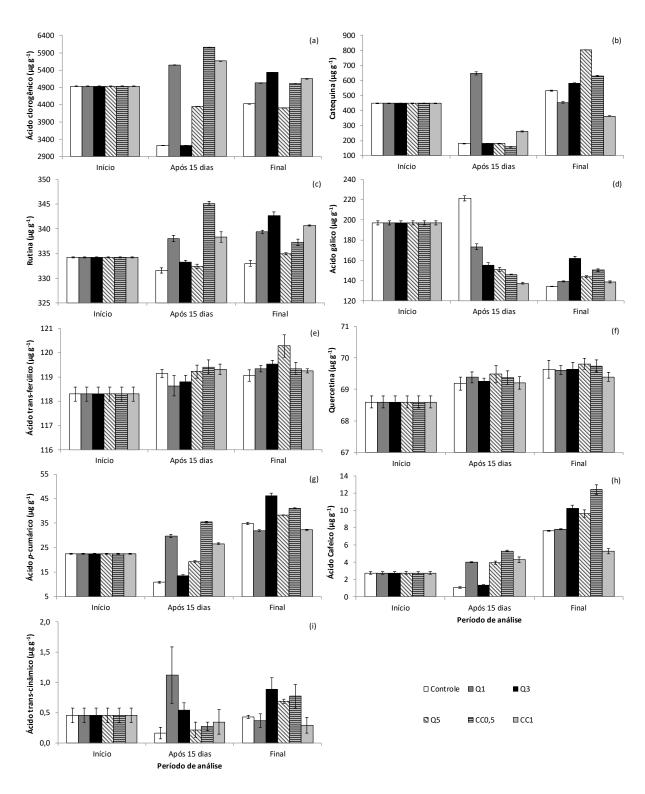


Figura 24. Perfil de polifenóis de cenouras roxas tratadas com diferentes recobrimentos comestíveis e armazenadas por 90 dias a 2°C e 95-100% UR. Q1: quitosana 1%; Q3: quitosana 3%; Q5: quitosana 5%; CC0,5: cera de carnaúba 0,5%; CC1: cera de carnaúba 1%. Barras verticais representam o erro padrão da média (n=3). Início = dia 0. Final = 75º, 60º, 90º, 90º, 75º e 30º dia para os tratamentos controle, Q1, Q3, Q5, CC0,5 e CC1, respectivamente.

O conteúdo de rutina, ácido trans-ferúlico e quercetina alterou em menores proporções ao longo do armazenamento (Figura 24). Foi verificado aumento de 2,5%, para

cenouras com Q3, e redução de 0,3%, para cenouras controle, no teor de rutina. Para o ácido trans-ferúlico, foi visto aumento de 1,6% (cenouras com Q5) e 0,6% (cenouras controle), enquanto que a quercetina aumentou 1,5% em média para todos os tratamentos.

4.4. Discussão

A utilização de recobrimento comestível visa prolongar a vida útil das cenouras roxas, as quais possuem uma durabilidade reduzida. O monitoramento da aparência, da respiração e dos aspectos bioquímicos auxilia na percepção das modificações advindas de tais tratamentos. Observou-se, com os resultados, que recobrimentos a base de quitosana causam maior manutenção da aparência, dos aspectos bioquímicos e da taxa respiratória, além de prolongar a vida útil. Alterações decorrentes do tempo de armazenamento também foram encontradas nesse trabalho.

Os resultados obtidos para índice de murchamento, aparência e perda de matéria fresca estão correlacionados com o tipo de recobrimento utilizado. Cenouras que perderam a qualidade comercial mais rapidamente também mostraram maiores índices de murchamento e maiores perdas de matéria fresca. Em cenouras, a perda de água é um favor determinante para a qualidade comercial, considerando que afeta diretamente a aparência e leva ao descarte do produto. Isto ocorre porque a perda de água acarreta em enrugamento, perda de frescor, textura e brilho (Chitarra e Chitarra, 2005).

A menor perda de matéria fresca, bem como o menor índice de murchamento e a melhor aparência gerada pelo recobrimento a base de quitosana é devido à sua aderência à superfície da cenoura. O microambiente formado resulta em mudanças nas concentrações atmosféricas, que proporcionam redução do metabolismo e formam uma barreira física contra a perda de água por transpiração, revestindo a periderme pela qual ocorre saída de vapor de água (Lacroix e Le Tien, 2005; Rhim e Shellhammer, 2005). Além disso, o uso do glicerol como plastificante no recobrimento a base de quitosana permite que, mesmo ocorrendo variações na estrutura celular e, consequentemente, na superfície do vegetal, não haja o rompimento do recobrimento, com a formação de fissuras, pelas quais pode ocorrer maior troca gasosa. O glicerol aumenta a mobilidade das cadeias poliméricas, reduzindo as interações moleculares, o que impede a forção de tais fissuras, sendo um dos mais eficientes plastificantes disponíveis (Sothornvit e Krochta, 2005).

A perda de matéria fresca está relacionada com a respiração e, principalmente, com a transpiração do vegetal, a qual ocasiona perda de água devido à diferença entre a umidade interna do produto e a umidade do ar, diminuindo o peso do vegetal (Gorris e Peppelenbos, 1992; Chitarra e Chitarra, 2005). Nesse sentido, a película gerada pela quitosana 3%, aliada à alta umidade relativa e à baixa temperatura durante o armazenamento, pode ter sido mais eficiente por formar uma barreira flexível e semipermeável, sendo capaz de modificar a atmosfera interna na proporção mais adequada, e diminuir as perdas com transpiração, bem como reduzir a taxa respiratória e manter os maiores valores de sólidos solúveis. Concentrações de CO₂ mais elevadas e de O₂ reduzidas interferem na atividade das enzimas envolvidas nas etapas da respiração, como succinato desidrogenase e piruvato desidrogenase, reduzindo suas funções e a conversão de açúcares em energia (Chitarra e Chitarra, 2005).

A matéria-prima, a concentração e a espessura da película de recobrimento influenciam nas taxas de permeabilidade dos gases e do vapor de água (Gorris e Peppelenbos, 1992). Assim, a concentração de quitosana 1% pode não ter formado um filme suficientemente espesso ou a sua concentração pode estar abaixo do necessário para diminuir eficientemente as trocas gasosas com o ambiente. Concentrações mais altas de quitosana (5%) e de cera de carnaúba (1%) podem ter acentuado a perda de massa fresca por provocar aumento na respiração e, consequentemente, consumo de sólidos solúveis como substrato metabólico. É provável que essas maiores concentrações dos recobrimentos tenham gerado atmosferas com teores de CO₂ mais elevados, que, ao contrário de reduzir o metabolismo, tenham acelerado o mesmo. Caron et al. (2003), obtiveram maior perda de matéria fresca para as cenouras tratadas com cera de carnaúba em concentrações de 1:3 e 1:6 (v:v). Ainda, para a CC1, a observação de depressões na superfície de algumas cenouras após certo período, pode ter intensificado o metabolismo, devido aos danos estruturais causados.

A menor saturação de cor encontrada para os tratamentos com cera de carnaúba pode estar associada à matéria-prima base. Alguns recobrimentos lipídicos podem conferir ligeira aparência opaca ao produto e gerar menor cromaticidade da cor, se não forem submetidos à etapa de escovação ou polimento, como nesse experimento. Cenouras controle apresentaram a menor tonalidade, evidenciando que os recobrimentos utilizados propiciaram melhor retenção da coloração ao longo do armazenamento. Outros trabalhos

relataram a eficiência do recobrimento de quitosana em preservar a textura e a coloração de cenouras minimamente processadas (Pushkala *et al.*, 2012; Leceta *et al.*, 2015) e da cera de carnaúba diluída em contribuir para uma melhor aparência de cenouras ao longo do armazenamento (Caron *et al.*, 2003).

Observou-se maiores teores de compostos fenólicos em cenouras tratadas com quitosana e dependente da concentração utilizadas (Q5 > Q3 > CC0,5 > Q1 > Controle > CC1; ordem decrescente de valores médios), ocorrendo o mesmo com o conteúdo de antocianinas e de flavonóis totais. Sabe-se que a quitosana pode exibir papel de elicitor exógeno, induzindo a biossíntese de novos compostos, por meio da inibição de enzimas, como as proteases, e ativação de outras como a quitinases, glucanases, fenilalanina amôniaaliase (PAL) e peroxidases (Devlieghere et al., 2004; Simoes et al., 2009). Acredita-se que tais eventos tenham acontecido nas cenouras recobertas, não somente pelo fato de a quitosana ter esse papel elicitor, mas também pela barreira que esta formou ao redor do vegetal, modificando a atmosfera interna, a qual também foi responsável pela regulação dessas enzimas. Da mesma forma, a cera de carnaúba utilizada também interferiu na atmosfera intracelular, resultado em alterações significativas dos compostos bioativos, entretanto, com menor eficiência que o recobrimento a base de quitosana. Com as alterações no conteúdo dos compostos bioativos, a capacidade antioxidante foi alterada na mesma intensidade, mostrando a relação direta entre eles. Em outros trabalhos foi demonstrado aumento de compostos fenólicos, bem como surgimento e/ou redução de diversos polifenóis em cenouras tratadas com quitosana em diferentes concentrações (Wójcik e Złotek, 2008; Simoes *et al.*, 2009; Pushkala *et al.*, 2012)

Em relação às antocianinas, o uso de recobrimento a base de quitosana em lichia (Jiang et al., 2005) e em cereja (Kerch et al., 2011) mostraram relação do aumento no conteúdo do pigmento com o aumento da concentração de quitosana utilizada. Os autores atribuem que a quitosana auxiliou na inibição da polifenolxidade, que degradaria as antocianinas presentes. Acredita-se ainda que, devido à característica dos recobrimentos a base de quitosana serem uma boa barreira ao oxigênio, a microatmosfera celular formada auxiliou também na regulação dessa enzima. Dessa forma, esse recobrimento não auxilia somente na redução do contato com o oxigênio do ambiente, pela proteção superficial, mas também na regulação da enzima internamente, pela menor proporção dos gases ao nível

celular. Quanto maior a concentração de quitosana, maior a espessura do filme e a barreira formada, maior interferência na atmosfera interna e menor a oxidação dos pigmentos.

Os resultados sugerem que a quitosana tenha favorecido a biossíntese de antocianinas, ao invés de ácido clorogênico, principal polifenol da cenoura, uma vez que para as cenouras com Q3 e Q5 houve maiores valores de antocianinas e os menores para ácido clorogênico. Em contrapartida, os demais tratamentos apresentaram os menores valores de antocianinas e os maiores de ácido clorogênico (exceto o controle). Cenouras do controle apresentaram os menores valores de antocianinas e dos polifenóis analisados, com exceção apenas para o ácido gálico. Por não terem nenhuma barreira física, não promoveram alteração da atmosfera interna, nem interferência na biossíntese dos compostos.

A via biossintética da antocianina e do ácido clorogênico se iniciam com o mesmo precursor, o ácido p-cumárico (Friedman, 1997; Chaves-Silva et al., 2018). A definição do produto da via pode estar relacionada com a modificação da atmosfera causada internamente pelos recobrimentos utilizados. A biossíntese de ácido clorogênico tem requisito absoluto de oxigênio (Friedman, 1997) e como os filmes a base de quitosana possuem boa barreira para esse gás (Dhall, 2013), provavelmente podem ter limitado a formação desse composto. Recobrimento de Q1 se mostrou não ser muito eficiente na manutenção da qualidade de cenouras, por ter formado um filme mais fino, sem causar importantes modificações na atmosfera interna, fato este tratamento também ter apresentado maior produção de ácido clorogênico que os demais tratamentos com quitosana. Ceras de carnaúba possuem maior permeabilidade ao oxigênio (Rhim e Shellhammer, 2005), o que explica a maior produção de ácido clorogênico nesses tratamentos. A cera de carnaúba utilizada nesse estudo possui pH mais básico (9,0) que os demais recobrimentos utilizados. Foi observado que o tratamento CC1 afetou a superfície de algumas cenouras após certo período, causando leves depressões. Tal evento pode ter levado à desestruturação celular, expondo substratos às enzimas oxidativas, causando redução de alguns compostos e aumento da produção de outros de forma a tentar combater o estresse abiótico gerado, levando a apresentar menores valores de compostos bioativos que o controle em muitos dias. O metabolismo acelerado desse tratamento é confirmado pela maior taxa respiratória verificada. Caron et al. (2003) também observaram manchas superficiais equivalentes a queimaduras nas cenouras tratadas com cera de carnaúba.

Estudos futuros podem ser realizados com foco nas rotas biossintética dos compostos fenólicos e investigar com mais profundidade o motivo que faz a via ser desviada para um ou outro composto, por meio da investigação das enzimas envolvidas nas reações.

4.5. Conclusão

O uso de recobrimentos comestíveis em cenoura roxa se mostra eficiente como técnica pós-colheita para preservação da qualidade comercial. Ceras de carnaúba possuem baixo efeito na qualidade comercial de cenouras roxas, não contribuindo para o aumento na vida útil. A quitosana parece favorecer a via fenilpropanóide ao invés de rota biossintética de ácido clorogênico em cenouras roxas. Recobrimento a base de quitosana a 3%, juntamente com a alta umidade relativa e a baixa temperatura durante o armazenamento, é mais eficiente para manter a qualidade de cenouras roxas. Tal recobrimento forma uma barreira flexível e semipermeável capaz de modificar a atmosfera interna na proporção mais adequada, diminuir as perdas com transpiração, reduzir a taxa respiratória, manter maiores valores de sólidos solúveis e de alguns compostos bioativos, como antocianinas e flavonóis. Também tal tratamento proporciona aumento da vida útil em 15 dias, em relação ao tratamento controle, além de manter melhor aparência.

Referências

ALASALVAR, C. et al. Effect of chill storage and modified atmosphere packaging (MAP) on antioxidant activity, anthocyanins, carotenoids, phenolics and sensory quality of ready-to-eat shredded orange and purple carrots. **Food Chemistry**, v. 89, n. 1, p. 69-76, 2005.

_____. Comparison of volatiles, phenolics, sugars, antioxidant vitamins, and sensory quality of different colored carrot varieties. **Journal of Agricultural and Food Chemistry,** v. 49, n. 3, p. 1410-1416, 2001.

AOAC, Association of Official Agricultural Chemists. **The Official Methods of Analysis of AOAC International**. 18th. **Washington**: AOAC International, 2010. 2500 p.

CARON, V. C.; JACOMINO, A. P.; KLUGE, R. A. Conservação de cenouras 'Brasília' tratadas com cera. **Horticultura Brasileira,** v. 21, n. 4, p. 597-600, 2003.

CHAVES-SILVA, S. et al. Understanding the genetic regulation of anthocyanin biosynthesis in plants – Tools for breeding purple varieties of fruits and vegetables. **Phytochemistry**, v. 153, p. 11-27, 2018.

CHITARRA, M. F. I.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. revisada e ampliada**. 2 rev. e ampl. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2005. 785 p.

DEBEAUFORT, F.; QUEZADA-GALLO, J.-A.; VOILLEY, A. Edible films and coatings: tomorrow's packagings. A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 38, n. 4, p. 299-313, 1998.

DEVLIEGHERE, F.; VERMEULEN, A.; DEBEVERE, J. Chitosan: antimicrobial activity, interactions with food components and applicability as a coating on fruit and vegetables. **Food Microbiology,** v. 21, n. 6, p. 703-714, 2004.

DHALL, R. K. Advances in edible coatings for fresh fruits and vegetables: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition,** v. 53, n. 5, p. 435-450, 2013.

FRIEDMAN, M. Chemistry, biochemistry, and dietary role of potato polyphenols. A review. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 45, n. 5, p. 1523-1540, 1997.

GORRIS, L. G. M.; PEPPELENBOS, H. W. **Modified atmosphere and vacuum packaging to extend the shelf life of respiring food products**. <u>Horticulture Technology</u>. Alexandria. 2: 303-309 p., 1992.

IPGRI, International Plant Genetic Resources Institute. **Descriptors for Wild and Cultivated Carrots** (*Daucus carota* L.). Roma, Italy: Bioversity International, 1998. 65 p.

JIANG, Y. M.; LI, J. R.; JIANG, W. B. Effects of chitosan coating on shelf life of cold-stored litchi fruit at ambient temperature. **Lwt-Food Science and Technology**, v. 38, n. 7, p. 757-761, 2005.

KERCH, G. et al. Effect of chitosan and chitooligosaccharide on vitamin C and polyphenols contents in cherries and strawberries during refrigerated storage. **European Food Research and Technology,** v. 233, n. 2, p. 351-358, 2011.

LACROIX, M.; LE TIEN, C. Edible films and coatings from nonstarch polysaccharides. In: HAN, J. H. (Ed.). **Innovations in Food Packaging**. London: Academic Press, 2005. cap. 20, p.338-361.

LECETA, I. et al. Quality attributes of map packaged ready-to-eat baby carrots by using chitosan-based coatings. **Postharvest Biology and Technology**, v. 100, p. 142-150, 2015.

LEES, D. H.; FRANCIS, F. J. Standardization of pigment analyses in cranberries. **HortScience**, v. 7, n. 1, p. 83-84, 1972.

MINOLTA, C. Precise color communication: color control from feeling to instrumentation. Osaka, Japan: Minolta Corporation Instrument Systems Division, 1994. 49 p.

NATIVIDADE, M. M. P. et al. Simultaneous analysis of 25 phenolic compounds in grape juice for HPLC: Method validation and characterization of São Francisco Valley samples. **Microchemical Journal,** v. 110, p. 665-674, 2013.

NICOLLE, C. et al. Genetic variability influences carotenoid, vitamin, phenolic, and mineral content in white, yellow, purple, orange, and dark-orange carrot cultivars. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 129, n. 4, p. 523-529, 2004.

NIETO, M. B. Structure ad function os polyssacharide gum-based edible films and coatings. In: EMBUSCADO, M. E. e HUBER, K. C. (Ed.). **Edible films and coatings for food applications**. New York: Springer, 2009. cap. 3, p.57-112.

PUSHKALA, R.; PARVATHY, K. R.; SRIVIDYA, N. Chitosan powder coating, a novel simple technique for enhancement of shelf life quality of carrot shreds stored in macro perforated LDPE packs. **Innovative Food Science & Emerging Technologies, v.** 16, p. 11-20, 2012.

RE, R. et al. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. **Free Radical Biology and Medicine**, v. 26, n. 9–10, p. 1231-1237, 1999.

RHIM, J. W.; SHELLHAMMER, T. H. Lipid-based edible films and coatings. In: HAN, J. H. (Ed.). **Innovations in Food Packaging**. London: Academic Press, 2005. cap. 21, p.362-383.

SIMOES, A. D. N. et al. Edible coatings containing chitosan and moderate modified atmospheres maintain quality and enhance phytochemicals of carrot sticks. **Postharvest Biology and Technology**, v. 51, n. 3, p. 364-370, 2009.

SINGH, D. P. et al. Impact of boron, calcium and genetic factors on vitamin C, carotenoids, phenolic acids, anthocyanins and antioxidant capacity of carrots (*Daucus carota*). **Food Chemistry**, v. 132, n. 3, p. 1161-1170, 2012.

SINGLETON, V. L.; ROSSI, J. A. Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

SOTHORNVIT, R.; KROCHTA, J. M. Plasticizers in edible films and coatings. In: HAN, J. H. (Ed.). **Innovations in Food Packaging**. London: Academic Press, 2005. cap. 23, p.403-433.

SUN, T.; SIMON, P. W.; TANUMIHARDJO, S. A. Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of biofortified carrots (*Daucus carota* L.) of various colors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 57, n. 10, p. 4142-4147, 2009.

SURLES, R. L. et al. Carotenoid profiles and consumer sensory evaluation of specialty carrots (*Daucus carota*, L.) of various colors. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 11, p. 3417-3421, 2004.

WÓJCIK, W.; ZŁOTEK, U. Use of chitosan film coatings in the storage of carrots (*Daucus carota*). **Progress on Chemistry and Application of Chitin and its Derivatives,** v. 13, p. 141–148, 2008.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho porporcionou o aprofundamento do conhecimento na área de tecnologia pós-colheita de cenouras roxas recém-introduzidas no mercado brasileiro, além de contribuir com o cenário internacional, no qual há poucos estudos sobre tal tema.

O estudo sobre diferentes condições de armazenamento trouxe novidades como o perfil de polifenóis dessa variedade, visto que alguns dos polifenóis identificados nas amostras não tinham sido ainda relatados pela literatura. Também, foi possível observar que a cenoura roxa é grande fonte de compostos bioativos, entre eles, a antocianinas, com valores mais altos que muitas frutas consideradas fonte de tal composto.

A atmosfera modificada com o uso de embalagens se mostrou uma alternativa interessante e de fácil implementação por parte do produtor para manter a qualidade comercial do produto, mesmo em condições de umidade relativa abaixo do ideal. Além disso, tal tecnologia pôde auxiliar a resolver um dos maiores problemas de perda de qualidade, a perda de massa fresca que, além de afetar a aparência, reduz concentrações de muitos compostos de interesse para a saúde do consumidor.

O uso de recobrimento comestível contribuiu para a manutenção da aparência da cenoura, reduzindo a perda de massa fresca e o murchamento. Ainda é necessário estudar outros tipos de recobrimentos comestíveis nessa hortaliça, que possam apresentar maior potencial de aplicação e secagem numa planta de beneficiamento.

A cenoura roxa apresenta um grande potencial de estudos, uma vez que se mostrou ser um alimento nutricionalmente vantajoso, aprofundando os aspectos bioquímicos e os potenciais usos na agroindústria, como matéria-prima de sucos, polpas e produção de corantes naturais.

Os resultados obtidos evidenciam a importância de se conhecer a fisiologia de cenouras roxas, bem como utilizar tecnologias pós-colheitas adequadas para que a qualidade dessa hortaliça seja mantida, oferecendo ao consumidor um alimento de alta qualidade nutricional.

APÊNDICES

APÊNDICE A. Tabelas dos resultados estatísticos para uso de temperatura de armazenamento

Tabela 7. Teste F (ANOVA) do tempo e temperatura de armazenamento e interação destes sobre os aspectos físico-químico e bioquímicos de cenoura roxas.

		Valor de F		C.V.	Transformação
Variável	Tratamento	Dia	Tratamento x Dia	(%)	dos dados
Perda de massa fresca (% massa perdida) ^a	224,61 **	747,91 **	57,23 **	4,44	(x+0,375) ^{0,25}
Luminosidade (L) a	50,63 **	13,38 **	5,95 **	3,85	-
Cromaticidade (C) a	21,92 **	5,10 **	1,03 ^{ns}	8,45	-
Ângulo Hue (°h) a	22,04 **	4,33 **	3,17 **	11,30	-
Taxa respiratória (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) ^a	57,39 **	65,79 **	6,88 **	18,00	x ⁻¹
Sólidos solúveis (%) ^b	31,76 **	9,69 **	10,09 **	4,31	x ⁻²
Compostos fenólicos totais (mg AGE g ⁻¹) b	30,37 **	8,10 **	6,60 **	7,29	-
Antocianinas (mg g ⁻¹) b	43,06 **	29,46 **	36,49 **	2,64	-
Flavonóis (mg g ⁻¹) ^b	6,66 **	1,18 ^{ns}	5,58 **	12,70	x ²
Capacidade antioxidante (μM TE g ⁻¹) ^b	4,22 *	23,51 **	2,70 *	4,27	-
Ácido gálico (μg g ⁻¹) ^b	12,43 **	144,46 **	20,33 **	5,05	-
Catequina (µg g ⁻¹) ^b	0,75 ^{ns}	11,33 **	3,94**	12,98	-
Ácido trans-cinâmico (μg g ⁻¹) ^b	0,87 ^{ns}	28,33 **	0,26 ^{ns}	78,64	$(\log(x))^2$
Ácido cafeico (μg g ⁻¹) ^b	9,93 **	52,95 **	4,10 **	21,26	log(x)
Ácido clorogênico (μg g ⁻¹) ^b	217,91 **	832,67 **	64,57 **	3,39	-
Ácido <i>p</i> -cumárico (µg g ⁻¹) ^b	173,48 **	720,82 **	63,98 **	3,62	-
Ácido trans-ferúlico (µg g ⁻¹) ^b	1,43 ^{ns}	45,86 **	4,10 **	0,24	-
Rutina (μg g ⁻¹) ^b	20,70 **	44,99 **	12,17 **	0,52	-
Quercetina (μg g ⁻¹) ^b	3,25 *	27,71 **	4,17 **	0,32	-

a Resultados obtidos da média de cinco repetições. B Resultados obtidos da média de três repetições. P ≤ 0,05; ** P ≤ 0,01; ns não significativo; CV (%): coeficiente de variação; AGE: ácido gálico equivalente; TE: trolox equivalente.

Tabela 8. Perda de massa fresca, taxa respiratória, sólidos solúveis, luminosidade e ângulo de cor de cenouras roxas armazenadas sob diferentes condições por 60 dias.

		Condição de a	rmazenamento)		Condição de a	rmazenamento	
Dia	2°C	8°C	14°C	Ambiente	2°C	8°C	14°C	Ambiente
	(95-100% UR)	(95-100% UR)	(95-100% UR)	(25°C, 70% UR)	(95-100% UR)	(95-100% UR)	(95-100% UR)	(25°C, 70% UR)
		Perda de mass	a fresca (%)			Lumino	sidade (L)	
0	0,00 Fa	0,00 Ea	0,00 Ca	0,00 Ca	31,53 Aa	32,49 Aa	31,65 ABa	32,74 Aa
7	1,86 Ebc	2,80 Db	1,21 Bc	12,94 Ba	28,72 Bb	30,44 ABb	31,49 ABa	33,69 Aa
15	3,82 Dc	6,51 Cb	1,29 Bd	29,91 Aa	30,41 ABb	29,08 BCb	30,57 Bb	33,61 Aa
30	7,16 Cb	11,62 Ba	5,58 Ab		28,21 Bb	30,17 ABb	33,51 Aa	
45	11,04 Bb	16,09 Aa			26,82 Ba	27,28 Ca		
60	16,19 Aa				29,59 ABa			
	Taxa	respiratória (r	nL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)			Ângulo	de cor (°h)	
0	49,96 Aa	49,96 Aa	49,96 Aa	49,96 Aa	57,38 Aa	61,69 Aa	62,01 Aa	59,21 Ba
7	11,35 Cb	14,20 Bb	16,79 Bab	23,13 Ba	48,04 Ab	62,33 Aab	63,58 Aab	70,92 ABa
15	14,08 BCb	10,74 Bb	18,24 Bab	25,82 Ba	56,08 Ab	60,70 Ab	67,12 Aab	81,93 Aa
30	10,85 Cb	11,60 Bb	16,72 Ba		53,82 Ab	69,47 Aab	75,88 Aa	
45	12,44 BCa	10,44 Ba			53,09 Aa	64,48 Aa		
60	17,18 Ba				59,60 Aa			
		Sólidos solú	veis (%)					
0	9,88 Aa	9,88 Aa	9,88 Aa	9,88 Ba				
7	9,43 Aa	9,77 Aa	8,82 Aa	10,50 Ba				
15	9,35 Ab	10,05 Ab	9,75 Ab	13,33 Aa				
30	9,52 Aa	10,37 Aa	9,78 Aa					
45	9,88 Aa	10,82 Aa						
60	10,18 Aa							

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05) (n=5; Sólidos solúveis: n=3).

Tabela 9. Cromaticidade de cenouras roxas armazenadas sob diferentes condições por 60 dias.

		Condição de arma	azenamento		
Dia	2°C (95-100% UR)	8°C (95-100% UR)	14°C (95-100% UR)	Ambiente (25°C, 70% UR)	Média
0	6,60	6,41	6,06	6,57	6,41 C
7	8,16	6,93	6,69	6,81	7,15 B
15	7,47	6,38	6,53	6,96	6,83 BC
30	7,89	6,88	6,72		7,16 B
45	7,81	6,69			7,25 B
60	8,22				8,22 A
Média	7,69 a	6,66 b	6,50 b	6,78 b	

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05) (n=5).

Tabela 10. Compostos fenólicos totais, capacidade antioxidante, antocianinas e flavonóis de cenouras roxas armazenadas sob diferentes condições por 60 dias.

		Condição de a	rmazenament	0		Condição de a	rmazenament	0	
Dia	2°C (95-100% UR)	8°C (95-100% UR)	14°C (95-100% UR)	Ambiente (25°C, 70% UR)	2°C (95-100% UR)	8°C (95-100% UR)	14°C (95-100% UR)	Ambiente (25°C, 70% UR)	
	Compo	ostos fenólicos	(mg AGE g ⁻¹)		Antocianinas (mg g ⁻¹)				
0	15,32 Aa	15,32 Aa	15,32 Aa	15,32 Aa	6,67 Ba	6,67 Ba	6,67 Ba	6,67 Ba	
7	15,08 Aa	15,81 Aa	15,76 Aa	15,89 Ba	7,00 Bab	7,42 ABa	6,67 Bb	7,55 Aa	
15	16,26 Aa	16,34 Aa	15,28 Aa	12,77 Bb	6,79 Bb	7,49 ABa	7,24 Aab	4,94 Cc	
30	14,66 Aa	15,57 Aa	14,74 Aa		6,48 Ba	7,00 Ba	6,52 Ba		
45	15,48 Aa	16,08 Aa			6,66 Bb	7,61 Aa			
60	16,71 Aa				7,60 Aa				
	Capacidade	antioxidante -	ABTS (mM TE	g ⁻¹)		Flavonó	is (mg g ⁻¹)		
0	88,32 Ba	88,32 Ba	88,32 Ba	88,32 Ba	1,99 Aa	1,99 Aa	1,99 Aa	1,99 Aa	
7	95,60 ABa	100,68 ABa	99,08 Aa	104,58 Aa	1,99 Aa	2,18 Aa	1,84 Aa	2,16 Aa	
15	90,44 Bb	96,82 Bab	104,97 Aa	90,78 Bb	2,10 Aa	2,07 Aa	2,08 Aa	1,49 Bb	
30	93,95 ABa	104,06 ABa	102,22 Aa		1,88 Aa	2,10 Aa	1,86 Aa		
45	104,79 Aa	110,28 Aa			1,87 Aa	2,21 Aa			
60	104,15 ABa				1,99 Aa				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05) (n=3). AGE = ácido gálico equivalente. ABTS = [2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico]. TE = trolox equivalente.

Tabela 11. Perfil de polifenóis de cenouras roxas armazenadas sob diferentes condições por 60 dias.

B. C. I. I.		Condição de a	rmazenamento)		Condição de a	rmazenamento)	
Período de análise	2°C	8°C	14°C	Ambiente	2°C	8°C	14°C	Ambiente	
ananse	(95-100% UR)	(95-100% UR)	(95-100% UR)	(25°C, 70% UR)	(95-100% UR)	(95-100% UR)	(95-100% UR)	(25°C, 70% UR)	
		Ácido clorog	ênico (μg g ⁻¹)		Ácido trans-ferúlico (μg g ⁻¹)				
Início	6631,5 Aa	6631,5 Aa	6631,5 Aa	6631,5 Aa	119,9 Aa	119,9 Aa	119,9 Aa	119,9 Aa	
Após 7 dias	6629,7 Aa	7112,9 Aa	4572,1 Bb	3701,2 Bc	119,8 Aa	119,9 Aa	118,9 Bb	119,2 ABab	
Final	4598,0 Ba	4456,3 Ba	3178,5 Cb	2484,9 Cc	118,5 Ba	118,7 Ba	118,9 Ba	118,9 Ba	
		Catequi	na (μg g ⁻¹)			Quercet	ina (μg g ⁻¹)		
Início	843,3 Aa	843,3 ABa	843,3 Aa	843,3 Aa	69,8 ABa	69,8 ABa	69,8 Aa	69,8 Aa	
Após 7 dias	778,0 Aa	526,1 Ba	786,3 Aa	774,6 Aa	70,3 Aa	70,1 Aab	69,4 Ab	69,5 Ab	
Final	952,0 Aa	1063,6 Aa	748,2 Aa	928,8 Aa	69,2 Ba	69,1 Ba	69,2 Aa	69,2 Aa	
		Rutina	(μg g ⁻¹)			Ácido <i>p</i> -cun	nárico (µg g ⁻¹)		
Início	337,3 Aa	337,3 Ba	337,3 Aa	337,3 Aa	60,7 Aa	60,7 Aa	60,7 Aa	60,7 Aa	
Após 7 dias	335,5 Ab	343,0 Aa	334,7 Ab	334,4 Ab	61,9 Aa	53,9 Bb	32,3 Bc	31,0 Bc	
Final	337,5 Aa	333,6 Bab	328,6 Bbc	325,4 Bc	41,2 Ba	40,0 Ca	28,9 Bb	28,9 Bb	
		Ácido gál	ico (μg g ⁻¹)			Ácido cafe	eico (µg g ⁻¹)	_	
Início	158,7 Ba	158,7 Ba	158,7 Ba	158,7 Ca	27,2 Aa	27,2 Aa	27,2 Aa	27,2 Aa	
Após 7 dias	160,1 Bb	185,7 Bb	237,9 Aa	228,1 Aa	15,9 Aa	17,5 Aa	5,1 Bab	2,4 Bb	
Final	232,1 Aa	237,7 Aa	238,4 Aa	196,5 Bb	3,3 Ba	6,0 Aa	4,6 Ba	1,6 Ba	
		Ácido trans-ci	nâmico (μg g ⁻¹)		Média				
Início	2,23	2,23	2,23	2,23	2,23 A				
Após 7 dias	1,63	1,19	0,83	0,84	1,12 B				
Final	0,66	0,92	0,82	1,12	0,88 B				
Média	1,51 a	1,45 a	1,29 a	1,40 a					

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05) (n=3).

APÊNDICE B. Tabelas resultados estatísticos para atmosfera modificada gerada por diferentes embalagens

Tabela 12. Teste F (ANOVA) do tratamento e dias de armazenamento e interação destes sobre os aspectos físico-químicos e bioquímicos de cenoura roxas.

		Valor de F			T
Variável	Tratamento	Dia	Tratamento x Dia	C.V. (%)	Transformação dos dados
Perda de massa fresca (% massa perdida) ^a	11,38 **	16,88 **	3,53 **	20,48	(x+1) ⁻³
Luminosidade (L) ^a	5,47 **	45,82 **	1,16 ^{ns}	3,02	-
Cromaticidade (C) ^a	7,42 **	44,35 **	1,17 ^{ns}	5,59	-
Ângulo Hue (°h) ^a	5,84 **	24,78 **	2,60 *	5,38	-
Taxa respiratória (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) ^a	47,14 **	31,34 **	4,45 **	13,98	-
Sólidos solúveis (%) b	69,31 **	197,01 **	30,30 **	2,20	x ⁻²
Oxigênio (%) ^c	1874,08 **	180,76 **	72,77 **	6,06	log(x+1)
Dióxido de carbono (%) ^c	262,57 **	113,00 **	29,07 **	5,37	(x+0,375) ^{0,5}
Compostos fenólicos totais (mg AGE g ⁻¹) ^b	146,62 **	190,38 **	12,10 **	2,68	x ⁻¹
Antocianinas (mg g ⁻¹) b	1647,72 **	985,33 **	358,97 **	0,77	-
Flavonóis (mg g ⁻¹) b	922,68 **	555,25 **	174,17 **	0,98	-
Capacidade antioxidante (mM TE g ⁻¹) b	8,92 **	17,02 **	4,40 **	1,57	log(x)
Polifenois totais (μg g ⁻¹) ^d	169,20 **	8,94 **	63,17 **	1,06	-
Ácido gálico (μg g ⁻¹) ^b	4,62 *	167,09 **	0,26 ^{ns}	1,90	-
Catequina (μg g ⁻¹) ^b	64,64 **	318,43 **	11,21 **	5,46	x ⁻¹
Ácido trans-cinâmico (µg g ⁻¹) b	0,65 ^{ns}	7,13 **	0,61 ^{ns}	31,19	-
Ácido cafeico (μg g ⁻¹) ^b	1135,35 **	17613,30 **	228,87 **	1,33	log(x)
Ácido clorogênico (μg g ⁻¹) b	217,02 **	20,64 **	97,55 **	1,16	-
Ácido p -cumárico ($\mu g g^{-1}$) b	9,20 **	17,33 **	2,86 *	21,11	x ⁻²
Ácido trans-ferúlico (μg g ⁻¹) b	48,70 **	480,64 **	26,72 **	0,27	-
Rutina (µg g ⁻¹) b	3,43 *	1,80 ^{ns}	1,76 ^{ns}	0,50	-
Quercetina (μg g ⁻¹) ^b	11,63 **	78,52 **	5,12 **	0,33	-

a Resultados obtidos da média de cinco repetições.
 b Resultados obtidos da média de três repetições.
 c Resultados obtidos da média de seis repetições.
 d Somatória dos polifenóis analisados.
 e P ≤ 0,05;
 e P ≤ 0,01;
 ns: não significativo;
 c (%): coeficiente de variação;
 AGE: ácido gálico equivalente;
 TE: trolox equivalente.

Tabela 13. Perda de massa fresca, sólidos solúveis, concentração gasosa (O₂ e CO₂) e taxa respiratória de cenouras roxas armazenadas com diferentes embalagens por 120 dias a 2°C e 80-85% UR.

		Tratar	nentos			Tratan	nentos	
Dia	Controle	CPL	PEBD	P-PEBD	Controle	CPL	PEBD	P-PEBD
		Perda de ma	ssa fresca (%	6)		Sólidos so	lúveis (%)	
0	0,00 Ba	0,00 Ca	0,00 Aa	0,00 Ba	9,1 Ba	9,1 Ca	9,1 Ba	9,1 Ca
15	13,74 Aa	0,05 BCb	0,07 Ab	0,12 ABb	12,8 Aa	10,0 ABb	9,9 Ab	10,2 Ab
30		0,07 BCa	0,03 Aa	0,08 ABa		9,9 Ba	9,8 Aa	10,1 Aa
45		0,12 ABCa	0,07 Aa	0,12 ABa		10,4 Aa	10,1 Aa	10,2 Aa
60		0,11 ABCa	0,13 Aa	0,15 ABa		10,2 ABa	9,8 Aa	10,1 Aa
7 5		0,16 ABCa	0,13 Aa	0,09 ABa		9,9 Ba	9,7 Aa	9,8 Ba
90		0,18 ABCa	0,21 Aa	0,12 ABa		10,3 Aa	9,8 Ab	10,3 Aa
105		0,25 ABa		0,30 Aa		9,7 Ba		10,0 Aa
120		0,35 Aa		0,28 Aa		10,0 ABa		10,1 Aa
	O ₂ (%)					CO ₂	(%)	
0	20,8 Aa	20,8 Aa	20,8 Aa	20,8 Aa	0,03 Aa	0,03 Da	0,03 Ea	0,03 Ca
15	20,9 Aa	13,1 Bb	1,0 Bc	11,3 Bb	0,03 Ac	1,42 Aa	1,40 Ba	0,85 Ab
30		11,9 Ba	0,4 Cb	11,5 Ba		1,30 ABa	1,12 BCa	0,60 ABb
45		11,2 Ba	0,7 BCb	11,1 Ba		0,98 BCa	0,70 Dab	0,50 Bb
60		14,0 Ba	0,6 BCb	12,7 Ba		0,95 BCa	0,97 CDa	0,53 ABb
75		12,9 Ba	1,2 Bb	10,5 Ba		0,93 Ca	0,93 CDa	0,52 Bb
90		11,1 Ba	0,5 Cb	10,1 Ba		1,33 ABb	2,82 Aa	0,70 ABc
105		11,8 Ba		11,7 Ba		1,27 ABCa		0,60 ABb
120		13,2 Ba		12,0 Ba		0,80 Ca		0,47 Ba
		a respiratória	a (mL CO₂ kg	; ⁻¹ h ⁻¹)				
0	27,2 Aa	27,2 ABCa	27,2 BCa	27,2 Aa				
15	8,0 Bb	19,4 Ca	22,6 Ca	17,1 BCab				
30		29,9 ABa	25,9 BCa	22,3 ABa				
45		20,5 BCa	18,2 Ca	12,0 Ca				
60		34,6 Aa	39,5 Aa	23,8 ABb				
75		35,8 Aa	34,3 ABa	23,7 ABb				
90		29,6 ABab	35,3 ABa	23,2 ABb				
105		23,8 BCa		21,3 ABCa				
120		35,7 Aa		21,4 ABCb				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05) (Perda de massa fresca e Taxa respiratória: n=5; O₂ e CO₂: n=6; Sólidos solúveis: n=3).

Tabela 14. Compostos fenólicos, antocianinas, flavonóis e capacidade antioxidante de cenouras roxas armazenadas com diferentes embalagens por 120 dias a 2°C e 80-85% UR.

Di-		Trata	mentos			Tratam	entos			
Dia	Controle	CPL	PEBD	P-PEBD	Controle	CPL	PEBD	P-PEBD		
	Cor	mpostos fená	olicos (mg A	GEg ⁻¹)		Antocianinas (mg g ⁻¹)				
0	16,8 Aa	16,8 Aa	16,8 Aa	16,8 Aa	3,4 Aa	3,4 Aa	3,4 Aa	3,4 Ea		
15	11,3 Bb	11,3 CDEb	12,0 Cb	13,7 CDa	2,5 Bd	2,8 DEc	3,0 Bb	3,6 Ca		
30		11,0 DEa	11,8 Ca	11,9 Ea		2,8 EFc	3,1 Ba	2,9 Gb		
45		12,0 BCb	11,8 Cb	14,5 BCa		2,9 Cb	2,7 Cc	3,3 Ea		
60		11,9 BCDb	13,1 Ba	13,0 Da		3,0 Bb	3,4 Aa	3,0 Fb		
75		10,8 Eb	10,7 Db	12,9 Da		2,7 Fb	2,5 Dc	2,9 Ga		
90		12,3 Bc	14,1 Bb	15,7 ABa		3,0 Bc	3,4 Ab	3,9 Aa		
105		12,2 Bb		13,8 CDa		3,0 Bb		3,5 Da		
120		12,8 Bb		15,8 ABa		2,9 CDb		3,7 Ba		
		Flavonó	is (mg g ⁻¹)		Capac	Capacidade antioxidante (mM TE g ⁻¹)				
0	1,182 Aa	1,182 Aa	1,182 Aa	1,182 Da	53,2 Aa	53,2 Aa	53,2 Aa	53,2 Aa		
15	0,846 Bd	1,031 CDc	1,120 Bb	1,225 Ca	42,5 Ba	40,8 Ba	40,8 Ba	49,2 ABa		
30		1,024 CDb	1,078 Ca	1,059 Fa		40,1 Ba	40,7 Ba	44,1 Ba		
45		1,017 Db	0,950 Dc	1,144 Ea		44,2 ABab	41,3 Bb	50,5 ABa		
60		1,091 Bb	1,157 ABa	1,082 Fb		45,7 ABa	45,8 ABa	46,4 Ba		
75		0,963 Eb	0,876 Ec	1,059 Fa		40,3 Ba	38,5 Ba	43,7 Ba		
90		1,060 BCc	1,165 Ab	1,340 Aa		40,3 Ba	41,2 Ba	48,5 Ba		
105		1,056 BCb		1,260 Ba		42,4 ABa		48,1 Ba		
120		1,091 Bb		1,359 Aa		40,9 Ba		49,1 ABa		

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05) (n=3). AGE: ácido gálico equivalente; TE: trolox equivalente.

Tabela 15. Perfil de polifenóis de cenouras roxas armazenadas com diferentes embalagens por 120 dias a 2°C e 80-85% UR.

Período		Trata	mentos				Tratam	entos		-
análise	Controle	CPL	PEBD	P-PEBD		Controle	CPL	PEBD	P-PEBD	_
		Ácido cloro	gênico (μg g ⁻¹)				Catequin	a (μg g ⁻¹)		_
Início	2525,6 Aa	2525,6 Aa	2525,6 Aa	2525,6 Ca		135,7 Aa	135,7 Ca	135,7 Ca	135,7 Ca	
Após 15 dias	2509,9 Ab	2304,8 Bc	2345,6 Bc	2653,2 Ba		143,2 Ac	174,4 Bb	168,2 Bb	209,3 Ba	
Final		2089,9 Cc	2521,1 Ab	2766,3 Aa			278,8 Ab	221,1 Ac	392,1 Aa	_
	ı	Ácido trans-í	erúlico (µg g ⁻¹)			Quercetir	na (μg g ⁻¹)		
Início	120,8 Ba	120,8 Ca	120,8 Ca	120,8 Ca		69,4 Aa	69,4 Ba	69,4 Ba	69,4 Ba	
Após 15 dias	127,5 Aa	123,9 Ab	124,2 Ab	124,0 Ab		69,8 Ab	70,4 Aab	70,7 Aa	70,6 Aa	
Final		122,4 Ba	122,7 Ba	121,9 Ba			70,8 Aa	70,2 Aa	70,9 Aa	_
	Ácido <i>p</i> -cumárico (μg g ⁻¹)						Ácido cafe	ico (μg g ⁻¹)		
Início	19,8 Aa	19,8 Aa	19,8 Ba	19,8 Ba		2,1 Ba	2,1 Ca	2,1 Ba	2,1 Ca	
Após 15 dias	19,1 Ab	19,8 Aab	20,2 ABab	26,6 Ba		5,8 Ad	7,6 Bc	10,5 Aa	8,8 Bb	
Final		23,4 Ab	29,8 Aab	39,6 Aa			15,5 Ab	10,9 Ac	16,6 Aa	
		Rutina (μg g ⁻¹)		Média		Ácido Gáli	co (μg g ⁻¹)		Média
Início	328,9	328,9	328,9	328,9	328,9 a	134,3	134,3	134,3	134,3	134,4 a
Após 15 dias	330,3	329,4	329,1	331,2	330,0 a	118,8	119,2	117,0	117,8	118,2 b
Final		327,5	329,5	332,9	329,9 a		114,2	nd	nd	114,2 c
Média	329,6 AB	328,6 B	329,2 AB	331,0 A		126,6 A	122,6 B	125,7 AB	126,1 AB	
	Áci	do trans-cin	âmico (μg g ⁻¹)							
Início	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30 b					
Após 15 dias	0,48	0,56	0,57	0,36	0,49 a					
Final		0,47	0,45	0,45	0,46 a					
Média	0,39 A	0,44 A	0,44 A	0,37 A						

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05) (n=3).

APÊNDICE C. Tabelas resultados estatísticos para uso de recobrimento comestível

Tabela 16. Teste F (ANOVA) do tratamento e dias de armazenamento e interação destes sobre os aspectos físico-químico e bioquímicos de cenoura roxas.

		Valor de F			Tuenefeumee
Variável	Tratamento	Dia	Tratamento x Dia	CV (%)	Transformação dos dados
Perda de massa fresca (% massa perdida) ^a	10,49**	207,55**	1,96**	13,53	x ^{0,5}
Luminosidade (L) ^a	10,12**	146,88**	2,97 ^{ns}	3,60	x^2
Cromaticidade (C) ^a	3,07*	11,19**	0,71 ^{ns}	8,25	-
Ângulo de cor (°h) ^a	4,54**	11,70**	0,77 ^{ns}	9,21	-
Taxa respiratória (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹) a	12,05**	147,73**	7,80**	8,51	x ^{-0,5}
Sólidos Solúveis (%) b	8,56**	12,46**	3,00**	2,61	-
Compostos fenólicos totais (mg AGE g ⁻¹) b	11,19**	51,64**	19,65**	4,06	-
Antocianinas (mg g ⁻¹) b	101,43 **	52,06 **	31,40 **	1,70	log(x)
Flavonóis (mg g ⁻¹) b	28,89 **	12,80 **	6,65 **	9,96	log(x)
Capacidade antioxidante (µM TE g ⁻¹) b	23,46**	71,07**	25,19**	3,47	-
Polifenóis (μg g ⁻¹) bc	201,42**	130,04**	173,60**	1,72	-
Ácido Gálico (μg g ⁻¹) ^b	5,27 **	102,30 **	9,12 **	1,28	log(x)
Catequina (μg g ⁻¹) b	4,44 **	55,11 **	10,12 **	19,82	-
Ácido trans-cinâmico (µg g ⁻¹) b	12,71 **	18,71 **	15,03 **	25,23	-log(x)
Ácido cafeico (μg g ⁻¹) b	395,19 **	5504,04 **	386,64 **	2,61	log(x)
Ácido clorogênico (μg g ⁻¹) ^b	270,55 **	9,05 **	205,26 **	3,39	x^2
Ácido p -cumárico (µg g ⁻¹) b	149,75 **	2062,02 **	210,88 **	2,93	-
Ácido trans-ferúlico (μg g ⁻¹) ^b	3,77 **	84,53 **	3,47 **	0,23	-
Rutina (µg g ⁻¹) b	47,18 **	63,52 **	33,98 **	0,30	-
Quercetina (μg g ⁻¹) ^b	3,66 **	318,47 **	1,39 ^{ns}	0,18	

a Resultados obtidos da média de cinco repetições. b Resultados obtidos da média de três repetições. c Somatória dos polifenóis analisados. P ≤ 0,05; ** P ≤ 0,01; ns: não significativo; CV (%): coeficiente de variação; AGE: ácido gálico equivalente; TE: trolox equivalente.

Tabela 17. Perda de matéria fresca, taxa respiratória e sólidos solúveis de cenouras roxas tratadas com diferentes recobrimentos comestíveis e armazenadas por 90 dias a 2°C e 95-100% UR.

	Tratamentos								
Dia	Controle	Quitosana	Quitosana	Quitosana	Carnaúba	Carnaúba			
		1%	3%	5%	0,5%	1%			
	Perda de massa fresca (%)								
0	0,00 Ea	0,00 Da	0,00 Ca	0,00 Ea	0,00 Ea	0,00 Ba			
7	1,30 DEa	2,53 Ca	1,41 Ca	0,69 DEa	1,29 DEa	2,31 Ba			
15	3,50 CDab	6,29 BCa	2,20 Cb	3,24 CDab	3,56 CDab	6,72 Aa			
30	5,87 BCbc	10,05 ABab	3,63 BCc	6,34 BCbc	6,02 BCbc	11,82 Aa			
45	10,91 ABab	14,08 Aa	6,82 ABb	9,26 ABab	8,84 ABab	-			
60	11,32 Aab	15,58 Aa	7,06 ABb	10,94 ABab	11,79 ABab	-			
75	11,63 Aa	-	7,08 ABa	11,05 ABa	12,01 Aa	-			
90	-	-	7,71 Aa	11,90 Aa	-	-			
	Taxa respiratória (mL CO ₂ kg ⁻¹ h ⁻¹)								
0	49,39 Aa	49,39 Aa	49,39 Aa	49,39 Aa	49,39 Aa	49,39 Aa			
7	16,44 BCa	15,01 Ca	13,56 Ca	15,84 CDa	12,74 Ca	14,33 Ba			
15	9,26 Db	10,13 Db	9,39 Db	15,11 CDa	16,05 BCa	17,11 BCa			
30	17,72 BCab	14,49 Cb	14,47 Cb	14,93 CbD	15,63 BCb	24,59 Ca			
45	17,11 BCb	16,57 BCb	13,04 CDb	32,83 ABa	11,54 Cb	-			
60	22,79 Ba	23,27 Ba	28,18 Ba	22,98 BCa	23,43 Ba	-			
75	12,47 CDa	-	13,45 Ca	11,35 Da	14,67 Ca	-			
90	-	-	16,87 BCa	18,24 Ca	-	-			
			Sólidos solúv	eis (%)					
0	9,45 Ba	9,45 Aa	9,45 Ca	9,45 Aa	9,45 Aa	9,45 Aa			
7	9,97 ABa	9,75 Aa	9,60 BCa	9,32 Aa	9,75 Aa	9,95 Aa			
15	9,75 ABa	9,75 Aa	9,80 ABCa	9,63 Aa	9,83 Aa	9,47 Aa			
30	9,32 Ba	10,27 Aa	10,20 ABCa	9,72 Aa	9,55 Aa	10,17 Aa			
45	10,38 Aa	10,00 Aa	10,13 ABCa	9,87 Aa	9,95 Aa	-			
60	10,07 ABa	9,83 Aa	10,60 Aa	9,90 Aa	10,22 Aa	-			
75	10,17 ABa	-	10,50 Aa	9,30 Ab	10,00 Aab	-			
90	-	-	10,33 ABa	9,63 Aa	-	-			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05) (Perda de matéria fresca e Taxa respiratória: n=5; Sólidos solúveis: n=3).

Tabela 18. Coloração de cenouras roxas tratadas com diferentes recobrimentos comestíveis e armazenadas por 90 dias a 2°C e 95-100% UR.

	Tratamentos								
Dia	Controle	Quitosana	Quitosana	Quitosana	Carnaúba	Carnaúba	Média		
		1%	3%	5%	0,5%	1%			
Luminosidade (L)									
0	32,70	32,70	32,70	32,70	32,70	32,70	32,70 A		
7	28,54	28,90	27,65	27,42	26,35	25,98	27,47 BC		
15	28,79	27,76	28,26	27,70	26,99	28,46	27,99 B		
30	26,46	26,73	27,19	26,56	25,36	27,26	26,59 C		
45	24,14	25,39	24,75	26,43	24,86	-	25,12 D		
60	28,42	28,73	26,99	27,97	28,38	-	28,10 B		
75	27,52	-	25,53	27,45	27,29	-	26,95 C		
90	-	-	23,71	25,69	-	-	24,70 D		
Média	28,08 abc	28,37 ab	27,58 d	28,03 bcd	27,42 cd	28,60 a			
Cromaticidade (C)									
0	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77	6,77 D		
7	7,25	7,55	7,33	7,55	6,94	6,90	7,25 BCD		
15	7,76	7,82	7,62	7,63	7,33	7,70	7,64 AB		
30	7,74	8,29	7,56	8,09	7,31	7,60	7,77 AB		
45	7,81	7,85	7,35	7,86	7,45	-	7,66 AB		
60	7,85	8,34	7,57	7,66	8,45	-	7,98 A		
75	7,58	-	7,33	7,58	7,83	-	7,58 CD		
90	-	-	7,30	7,58	-	-	7,44 ABC		
Média	7,54 ab	7,77 a	7,35 ab	7,59 ab	7,44 b	7,24 b			
			Ângul	o de cor (°h)					
0	59,03	59,03	59,03	59,03	59,03	59,03	59,03 BCD		
7	51,11	59,76	56,86	53,64	54,60	57,50	55,58 D		
15	53,01	57,71	59,26	54,46	58,27	65,29	58,00 CD		
30	55,81	62,29	59,34	58,58	61,45	65,05	60,42 BCD		
45	51,87	62,23	57,34	58,98	58,35	-	57,75 CD		
60	61,98	67,30	65,36	66,65	70,74	-	66,41 A		
75	59,87	-	65,59	64,17	64,92	-	63,64 AB		
90	-	-	59,79	64,95	-	-	62,37 ABC		
Média	56,10 b	61,39 a	60,32 ab	60,06 ab	61,05 a	61,72 a			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05) (n=5).

Tabela 19. Compostos fenólicos, antocianinas, flavonóis e capacidade antioxidante de cenouras roxas tratadas com diferentes recobrimentos comestíveis e armazenadas por 90 dias a 2°C e 95-100% UR.

	Tratamentos									
Dia	Controle	Quitosana	Quitosana	Quitosana	Carnaúba	Carnaúba				
		1%	3%	5%	0,5%	1%				
	Compostos fenólicos (mg AGE g ⁻¹)									
0	12,3 Ba	12,3 Ca	12,3 Ca	12,3 Ba	12,3 Bca	12,3 Ba				
7	13,8 Bab	11,3 Cd	12,9 BCbcd	15,3 Aa	13,2 BCbc	11,4 Bcd				
15	10,0 Cd	14,9 Aa	11,2 Ccd	12,5 Bbc	15,9 Aa	14,2 Aab				
30	16,0 Aa	12,5 BCc	15,0 Aa	14,9 Aab	13,2 BCbc	14,6 Aab				
45	13,1 Bab	14,3 ABa	11,7 Cb	14,0 ABa	11,6 Cb	-				
60	14,1 Bb	15,3 Aab	16,4 Aa	15,8 Aab	15,0 Aab	-				
75	13,1 Ba	-	14,6 ABa	14,5 Aa	13,5 Ba	-				
90	-	-	15,3 Aa	14,7 Aa	-	-				
			Antocianinas ($mg g^{-1}$)						
0	6,62 Aa	6,62 Aa	6,62 CDa	6,62 BCDa	6,62 Aa	6,62 Aa				
7	6,71 Ab	5,72 BCcd	6,21 Dbc	7,65 Aa	5,94 Bc	5,33 Bd				
15	5,20 Cb	6,16 ABa	6,22 CDa	6,35 CDa	6,21 ABa	5,37 Bb				
30	6,83 Aab	5,40 Cd	7,57 Ba	6,92 ABCab	6,03 ABc	6,49 Abc				
45	5,96 Bbc	6,58 Aab	5,57 Ecd	6,91 ABCa	5,30 Cd	-				
60	5,46 BCd	6,72 Abc	8,86 Aa	7,34 ABb	6,50 ABc	-				
75	5,01 Cc	-	6,89 BCa	6,17 Db	5,91 Bb	-				
90	-	-	7,53 Ba	6,83 BCDa	-	-				
			Flavonóis (m	g g ⁻¹)						
0	1,85 ABa	1,85 ABa	1,85 BCa	1,85 ABa	1,85 Aa	1,85 Aa				
7	1,85 ABa	1,72 Bab	1,73 Cab	2,06 ABa	1,80 Aa	1,43 Ab				
15	1,58 Ba	1,76 ABa	1,82 Ca	1,76 Ba	1,86 Aa	1,55 Aa				
30	1,97 Aa	1,59 Bb	2,08 BCa	2,00 ABa	1,75 Aab	1,83 Aab				
45	1,70 ABa	1,90 ABa	1,70 Ca	2,09 ABa	1,70 Aa	-				
60	1,59 Bc	2,11 Aab	2,58 Aa	2,15 ABab	1,95 Ab	-				
75	1,62 ABb	-	2,08 BCa	1,97 ABab	1,88 Aab	-				
90	-	-	2,23 ABa	2,21 Aa	-	-				
	Capacidade antioxidante (μM TE g ⁻¹)									
0	73,7 Aa	73,7 ABa	73,7 Ba	73,7 Ba	73,7 ABa	73,7 Aa				
7	74,4 Aab	68,9 Bbc	72,7 Bbc	85,2 Aa	70,6 Bbc	64,5 Bc				
15	50,6 Cd	69,4 Bab	56,6 Ccd	61,8 Cbc	75,5 ABa	69,1 ABab				
30	81,5 Aa	59,3 Cc	84,7 Aa	81,9 ABa	72,7 ABb	79,5 Aab				
45	70,1 Bb	81,5 Aa	61,6 Cc	78,2 ABab	61,3 Cc	-				
60	75,2 Ab	79,1 Aab	86,0 Aa	81,7 ABab	80,5 Aab	-				
75	67,7 Bb	-	80,4 ABa	74,7 Bab	79,5 Aa	-				
90	-	-	85,8 Aa	84,6 Aa	-	-				

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05) (n=3). AGE: ácido gálico equivalente; TE: trolox equivalente.

Tabela 20. Perfil de polifenóis de cenouras roxas tratadas com diferentes recobrimentos comestíveis e armazenadas por 90 dias a 2°C e 95-100% UR.

Tratamentos									
Período de análise	Controle	Quitosana 1%	Quitosana 3%	Quitosana 5%	Carnaúba 0,5%	Carnaúba 1%			
Ácido cloogênico (μg g ⁻¹)									
Início	Início 4933,6 Aa 4933,6 Ba 4933,6 Ba 4933,6 Ba 4933,6 Ba								
Após 15 dias	3222,0 Cd	5547,1 Ab	3219,9 Cd	4358,4 Bc	6053,3 Aa	5663,1 Ab			
Final	4422,4 Bc	5027,5 Bb	5327,4 Aa	4305,3 Bc	5021,1 Bb	5146,1 Bab	_		
Catequina (μg g ⁻¹)									
Início	448,2 Aa	448,2 Aa	448,2 Aa	448,2 Ba	448,2 Aa	448,2 Aa			
Após 15 dias	181,0 Bb	646,8 Aa	180,7 Bb	179,8 Cb	159,0 Bb	261,6 Ab			
Final	533,2 Abc	454,0 Abc	581,7 Aabc	802,3 Aa	630,6 Aab	363,7 Ac	_		
			Rutina (µg g ⁻¹)						
Início	334,2 Aa	334,2 Ba	334,2 Ba	334,2 Aa	334,2 Ba	334,2 Ba			
Após 15 dias	331,6 Ac	338,0 Ab	333,2 Bc	332,4 Ac	345,1 Aa	338,4 Ab			
Final	333,0 Ad	339,4 Abc	342,7 Aa	335,0 Ad	337,3 Bcd	340,7 Aab	_		
Ácido Gálico (μg g ⁻¹)									
Início	196,9 Aa	196,9 Aa	196,9 Aa	196,9 Aa	196,9 Aa	196,9 Aa			
Após 15 dias	221,3 Aa	173,3 Ab	155,3 Bbc	151,0 Bbc	145,9 Bbc	137,1 Bc			
Final	134,0 Ba	139,2 Ba	162,0 ABa	143,8 Ba	150,3 Ba	138,7 Ba	_		
		Ácido	trans-ferúlico (μg g ⁻¹)					
Início	118,3 Aa	118,3 Ba	118,3 Ba	118,3 Ca	118,3 Ba	118,3 Ba			
Após 15 dias	119,1 Aa	118,6 ABa	118,8 ABa	119,2 Ba	119,4 Aa	119,3 Aa			
Final	119,1 Ab	119,3 Ab	119,5 Aab	120,3 Aa	119,3 Ab	119,2 Ab	_		
		Ácid	o <i>p</i> -cumárico (µ	ıg g ⁻¹)					
Início	22,4 Ba	22,4 Ba	22,4 Ba	22,4 Ba	22,4 Ca	22,4 Ca			
Após 15 dias	10,8 Cf	29,7 Ab	13,4 Ce	19,3 Cd	35,4 Ba	26,6 Bc			
Final	34,8 Ad	32,0 Ae	46,2 Aa	38,3 Ac	41,0 Ab	32,2 Ae	_		
		Ác	ido cafeico (μg g	g ⁻¹)					
Início	2,8 Ba	2,8 Ca	2,8 Ba	2,8 Ca	2,8 Ca	2,8 Ca			
Após 15 dias	1,1 Cd	4,0 Bb	1,4 Cc	4,0 Bb	5,3 Ba	4,3 Bb			
Final	7,7 Ac	7,8 Ac	10,3 Ab	9,7 Ab	12,4 Aa	5,3 Ad	_		
		Ácido	trans-cinâmico	(μg g ⁻¹)					
Início	0,45 Aa	0,45 Ba	0,45 Ba	0,45 Aa	0,45 ABa	0,45 Aa			
Após 15 dias	0,16 Bd	1,12 Aa	0,54 ABab	0,22 Bcd	0,27 Bcd	0,35 Abc			
Final	0,43 Abcd	0,37 Bcd	0,89 Aa	0,69 Aabc	0,77 Aab	0,29 Ad			
Quercetina (µg g ⁻¹) Mé									
Início	68,6	68,6	68,6	68,6	68,6	68,6	68,60		
Após 15 dias	69,2	69,4	69,3	69,5	69,4	69,2	69,3 E		
Final	69,6	69,6	69,6	69,8	69,7	69,4	69,6 A		
Média	69,1 ab	69,2 ab	69,2 ab	69,3 a	69,2 ab	69,1 b			

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna e minúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey (P≥0,05) (n=3).