



ISABELA COSTA GUIMARÃES

**CENOURAS MINIMAMENTE PROCESSADAS  
COM COBERTURA DE AMIDO REFORÇADA  
COM SUSPENSÕES DE CELULOSE  
MICRO/NANOBRILADA OBTIDAS DE  
CENOURA**

**LAVRAS – MG**

**2016**

ISABELA COSTA GUIMARÃES

**CENOURAS MINIMAMENTE PROCESSADAS COM COBERTURA DE  
AMIDO REFORÇADA COM SUSPENSÕES DE CELULOSE  
MICRO/NANOBRILADA OBTIDAS DE CENOURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de “Doutor”.

Orientador

Prof. Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas

Coorientadora

Dra. Kelen Cristina dos Reis

**LAVRAS – MG  
2016**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Guimarães, Isabela Costa.

Cenouras minimamente processadas com cobertura de amido reforçada com suspensões de celulose micro/nanofibrilada obtidas de cenoura / Isabela Costa Guimarães. – Lavras : UFLA, 2016.

137 p. : il.

Tese(doutorado)–Universidade Federal de Lavras, 2016.

Orientador(a): Eduardo Valério de Barros Vilas Boas.

Bibliografia.

1. *Daucus carota*. 2. Processamento mínimo. 3. Micro/nanofibrilas de celulose. 4. Filme de amido. 5. Cobertura comestível. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

ISABELA COSTA GUIMARÃES

**CENOURAS MINIMAMENTE PROCESSADAS COM COBERTURA DE  
AMIDO REFORÇADA COM SUSPENSÕES DE CELULOSE  
MICRO/NANOBRILADA OBTIDAS DE CENOURA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, para obtenção do título de “Doutor”.

APROVADA em 16 de fevereiro de 2016.

Dra. Kelen Cristina dos Reis	UFLA
Profa. Dra. Elisângela Helena Nunes de Carvalho	UFLA
Prof. Dr. Gustavo Henrique Denizin Tonoli	UFLA
Profa. Dra. Fabrícia Queiroz Mendes	UFV/CRP

Prof. Dr. Eduardo Valério de Barros Vilas Boas  
(Orientador)

**LAVRAS – MG**  
**2016**

Pelo apoio, companheirismo e amor dedicado, ao meu marido e grande amor Ariel, com toda minha admiração.

**OFEREÇO.**

Aos meus pais, que me ensinaram a viver, se doando sem medir esforços, me ensinaram a não desistir e acreditaram em dias como este e à minha irmã, companheira e amiga zelosa.

**DEDICO.**

Mera mudança não é crescimento. Crescimento é a síntese de mudança e continuidade, e onde não há continuidade não há crescimento.”

(C.S. Lewis)

## AGRADECIMENTOS

A Deus, a quem dedico toda honra e toda glória, que se faz presente em todos os momentos, me sustentando e guiando, colocando anjos em meu caminho para suavizar a árdua caminhada.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade de realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa, por consentir e facilitar a continuação deste trabalho.

Ao CNPq, CAPES e FAPEMIG, pelo apoio financeiro.

Ao professor Eduardo Valério de Barros Vilas Boas, pela orientação paciente e confiança depositada.

À Kelen Cristina dos Reis, pela coorientação dedicada, sempre muito disponível e solícita, foi, sem dúvida, uma peça fundamental em todo o desenvolvimento de meu Doutorado.

À professora Joelma Pereira que disponibilizou materiais e o laboratório, para condução de parte do experimento, sempre que necessário.

Ao professor Gustavo Henrique Dramazim Tonoli por ser sempre solícito em disponibilizar o laboratório e equipamentos.

À professora Nilda de Fátima Ferreira Soares da Universidade Federal de Viçosa, por conceder a realização de análises no equipamento Zeta.

A todos os professores do Departamento de Ciência dos Alimentos pelos ensinamentos, que contribuíram muito para minha formação profissional.

Ao meu amado Ariel, que se dedica a mim como ninguém, dando doses diárias de companheirismo, amizade, alegria e amor, além do empenho no desenvolvimento de todo este trabalho.

Ao meu querido pai, que sempre me apoia, aconselha, acolhe e sofre comigo, não medindo esforços para me ajudar com todo o seu amor.

À minha irmã, por toda amizade e amor, pelas longas conversas cheias de bons conselhos, compreensão e apoio em todos os momentos.

Ao meu sobrinho Victor enche meu coração de amor e alegria dando sentido aos meus dias.

À minha linda avó Vilma, por ser um exemplo de vida e de dedicação.

A toda minha família, que torce e vibra com as minhas conquistas.

Ao meu grande amigo/irmão Evandro Menezes (Dudu), pela ajuda sempre presente, sem medir esforços, dando apoio, direção e tão presente em todos os momentos da minha vida.

À Regiane Fernandes, que mostrou-se mais que uma amiga, um exemplo de companheirismo e amor ao próximo.

Ao meu querido amigo Paulo Siriano, pela valiosa contribuição no trabalho de Pesquisa Orientada e por toda amizade que temos.

Ao Lucas Rodrigues, que me acompanhou e ajudou na condução e execução das análises, sempre que preciso foi.

À Thaís Ferreira, que foi muito importante na execução e desenvolvimento da parte experimental que envolveu a produção e análise dos filmes, mostrando-se sempre muito disponível e dedicada.

À Alessandra Fonseca que me auxiliou na utilização do grinder com muita paciência.

À Janyelle Alves pelos momentos dedicados a me ensinar e me ajudar em algumas etapas do trabalho.

À insubstituível Heloisa Siqueira, por dividir seus conhecimentos, estando sempre pronta para ajudar e esclarecer dúvidas.

À Juliana Lima por ser pronta a ajudar quando precisei.

Meus sinceros agradecimentos àquelas pessoas que, de alguma forma, doaram um pouco de si para que fosse possível a conclusão deste trabalho.

Aos colegas da pós-graduação, pela agradável convivência.



Aos funcionários do DCA, em especial Lucilene, Tina, Creuza pelo convívio, amizade, ensinamentos e auxílio sempre que necessário.

Às minhas colegas de trabalho da UFV/CRP, que já se tornaram amigas para a vida toda, me apoiando e não medindo esforços para ajudar no que for preciso: Isadora de Oliveira, Camila Silva e Lillian Gambi.

A todos os demais colegas da UFV/CRP, pela convivência agradável e pela torcida pelo sucesso desta etapa.

Enfim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho e para minha formação pessoal e profissional.

## RESUMO GERAL

Este trabalho foi realizado com o objetivo de elaborar filmes comestíveis e biodegradáveis a partir de misturas amido de milho plastificado com glicerol reforçado com suspensões de micro/nanofibrilas de celulose obtida a partir da cenoura, produzindo um biocompósito, bem como, estudar o efeito da aplicação desses filmes como cobertura/revestimento nas características físicas e químicas de cenouras minimamente processadas e armazenadas em temperatura e umidade relativa controladas. Obteve-se suspensões de micro/nanofibrilas de celulose a partir de cenoura por processo mecânico, sendo esta uma alternativa para o melhor aproveitamento do vegetal, contribuindo para a diminuição de perdas pós-colheita visto que, é possível utilizar cenouras murchas ou com padrão de qualidade inaceitável para comercialização, porém livres de contaminação microbiana. A aplicação de suspensões de micro/nanofibrilas de celulose obtidas da cenoura proporcionou melhores características, como propriedade de barreira e propriedades mecânicas aos filmes de amido. O uso da coberturas de amido reforçadas com suspensões de micro/nanofibrilas de celulose obtidas da cenoura foi responsável diminuição da perda de massa de cenouras minimamente processadas. O uso de cobertura de amido reforçada com com suspensões de micro/nanofibrilas de celulose de cenoura foi eficiente para também para diminuir a taxa respiratória, prevenindo o esbranquiçamento e mantendo a atividade antioxidante total, a quantidade de fenólicos totais e de ácidos orgânicos de cenouras minimamente processadas. O processamento mínimo das cenouras foi realizado com práticas higiênico-sanitárias satisfatórias, uma vez que, as cenouras minimamente processadas não apresentaram contagem significativa de fungos filamentosos e leveduras e apresentaram ausência de *Salmonella* sp. e de coliformes a 35 e 45°C, estando assim, livres também de *Echerichia coli*. O emprego de cobertura de amido reforçada com suspensão de micro/nanofibrilas de celulose obtida da cenoura promove o aumento da vida útil de cenoura minimamente processadas.

Palavras – chave: *Daucus carota*; microfibrilas de celulose; nanofibrilas de celulose; processamento mínimo; coberturas comestíveis.

## GENERAL ABSTRAT

This work was carried out in order to prepare edible and biodegradable films from mixtures of corn starch plasticized with glycerol and enhanced with suspensions of cellulose micro/nanofibrils (CMNF) obtained from carrot, producing a biocomposite as well, to study the effect of applying these films as a coating on the physical and chemical characteristics of minimally processed carrots and stored in controlled temperature and relative humidity. Suspensions of CMNF was obtained from carrot by a mechanical process, as alternative to the better utilization of the vegetable, contributing to the reduction of post-harvest losses since it is possible to use wilted carrots or pattern of unacceptable quality for market. Suspensions of carrot CMNF provided better characteristics such as barrier property and mechanical properties to the starch films. The use of starch coating reinforced with suspensions of carrot CMNF was responsible for a further decrease of mass loss. The starch coating reinforced with suspensions of carrot CMNF was also effective in decreasing respiratory rate, preventing whitening and keeping the total antioxidant activity, total amount of phenolic and organic acids of the minimally processed carrots. Minimal processing of carrots was carried out with satisfactory hygienic and sanitary practices, since the minimally processed carrots showed no significant counts of filamentous fungi and yeast and showed no *Salmonella* sp. and coliforms at 35 to 45°C and are therefore also free from *Escherichia coli*. The use of edible coating of starch enhanced with suspension of CMNF obtained from carrot promotes increased shelf life of minimally processed carrots.

Keywords: *Daucus carota*; cellulose microfibrils; cellulose nanofibrils; fresh-cut; edible coatings.

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE.....</b>	<b>11</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>14</b>
<b>2.1. Cenoura (Daucus carota) .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1. Características sensoriais e nutricionais da cenoura .....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.2 Cultivo da cenoura no Brasil e no mundo.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.3 Colheita, pós-colheita e comercialização da cenoura.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2 Processamento Mínimo de Vegetais.....</b>	<b>27</b>
<b>2.3 Polímeros biodegradáveis, nanopartículas e biocompósitos.....</b>	<b>32</b>
<b>2.3.1 Amido.....</b>	<b>35</b>
<b>2.3.2 Celulose e micro/nanofibrilas de celulose .....</b>	<b>38</b>
<b>2.4 Emprego de filmes e coberturas comestíveis em vegetais.....</b>	<b>45</b>
<b>3 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>47</b>
<b>4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>49</b>
<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS .....</b>	<b>63</b>
<b>ARTIGO 1 .....</b>	<b>63</b>
<b>Preparation of suspensions of cellulose micro/nanofibrillated obtained of carrots by mechanical defibrillation and their application in edible starch films .....</b>	<b>63</b>
<b>ARTIGO 2 .....</b>	<b>98</b>
<b>Cobertura comestível a base de amido e suspensão de celulose micro/nanofibrilada obtida de cenoura prolonga a vida útil de cenoura minimamente processada.....</b>	<b>98</b>

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO

Existe uma preocupação constante com o grande volume de resíduos gerados pelo descarte de embalagens, sendo que mais da metade do mercado de embalagens é voltado para o setor de alimentos. A grande quantidade de resíduos gerados pelo descarte de embalagens alimentícias, devido principalmente às dificuldades para separar polímeros, não pode ser inteiramente aproveitada pelos programas de reciclagem. É neste contexto que pesquisas para desenvolver novos materiais biodegradáveis (biopolímeros) de fontes renováveis têm crescido e sido bastante estimuladas, gerando uma forma de reduzir prejuízos ambientais causados pelos produtos de embalagens convencionais.

Os biopolímeros que podem ser destacados, devido suas propriedades químicas, físicas e mecânicas, que interessam do ponto de vista de processamento e aplicação, além de grande disponibilidade é o amido e a celulose. Esses materiais podem ser utilizados para produzir filmes comestíveis para serem empregados como embalagem de alimentos, não para substituir completamente plásticos sintéticos, mas sim melhorar a sua eficácia, reduzindo assim a quantidade de fibras sintéticas necessárias para cada aplicação.

Apesar de o amido ser um material promissor para produzir filmes comestíveis, suas propriedades físico-químicas precisam ser melhoradas, podendo ser incorporadas fibras celulósicas nanoestruturadas para este fim, que atuam como um reforço, melhorando as propriedades mecânicas, térmicas e de barreira a gases e vapor d'água. Para tratar de fibras celulósicas nanoestruturadas no presente trabalho, será utilizado o termo celulose micro/nanofibrilada ou micro/nanofibrilas de celulose.

As aplicações de celulose micro/nanofibrilada devem gerar, num futuro próximo, um grande interesse econômico nestas nanopartículas, que podem, inclusive, serem preparadas a partir de resíduos provenientes da agroindústria. Nesse contexto, o Brasil se destaca, pois é um dos maiores produtores agrícolas do mundo. Assim sendo, a pesquisa envolvendo o uso das celulose micro/nanofibrilada na preparação de biocompósitos com polímeros biodegradáveis ajusta-se perfeitamente a um cenário cada vez mais urgente de utilização de forma sustentável de recursos naturais que são abundantes no Brasil, de forma a desenvolver novos produtos provenientes de fontes renováveis e de baixo custo, agregando valor e gerando riquezas.

Uma interessante aplicação de filmes e coberturas a base de amido reforçados com celulose micro/nanofibrilada é na conservação de produtos minimamente processados.

O processamento mínimo de vegetais compreende operações, como descasque e corte em tamanhos menores, tornando-os prontos para consumo, mantendo as condições do produto ao natural, sendo a cenoura uma das hortaliças mais bem aceitas e consumidas desta forma. Porém a fisiologia dos vegetais minimamente processados é basicamente a fisiologia de um tecido injuriado, que leva a redução da durabilidade quando comparada à do produto inteiro, sendo necessário aplicar técnicas apropriadas para promover maior vida útil possível.

Juntamente com o emprego da cadeia do frio, que é indispensável para o sucesso do processamento mínimo, o revestimento de vegetais minimamente processados com coberturas comestíveis à base de biopolímeros, como o amido, reforçadas com suspensões que contenham micro/nanofibrilas de celulose, pode ser uma técnica efetiva para aumentar a vida útil destes produtos.

Diante do exposto, este trabalho foi realizado com o objetivo de elaborar filmes/coberturas biodegradáveis a partir de misturas de amido de milho e

glicerol reforçados com suspensões de celulose micro/nanofibrilada obtidas a partir da cenoura, bem como estudar o efeito da aplicação dessas coberturas nas características físicas e químicas de cenouras minimamente processadas e armazenadas em temperatura e umidade relativa controladas, podendo gerar alternativas para melhor aproveitamento pós-colheita de cenouras.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Cenoura (*Daucus carota*)

A cenoura (*Daucus carota*) é originária da região onde hoje se localiza o Afeganistão, no Mar Mediterrâneo (FILGUEIRA, 2008). Entretanto, a cenoura de coloração alaranjada foi selecionada a partir de material asiático trabalhado na França e na Holanda durante o século XVII e depois foi introduzida na América. A introdução da cenoura no Brasil ocorreu no século XVI (FILGUEIRA, 2008), com a vinda das expedições portuguesas que trouxeram as sementes de cenoura em meio a outras hortícolas (VILELA; BORGES, 2008). Acredita-se que as primeiras plantações de cenoura no Brasil tenham sido realizadas no século XIX, no Rio Grande do Sul, na horta de um mosteiro pelos jesuítas espanhóis que, posteriormente, de forma empírica, espalharam a cultura em diversos municípios desse estado (VILELA; BORGES, 2008).

Antes de 1981, a cultura de cenoura no Brasil era praticamente inviável em determinadas épocas e regiões, sendo que produções razoáveis poderiam ser obtidas somente com a utilização excessiva de agrotóxicos, muitas vezes importados, necessários ao controle da queima-das-folhas, principal problema fitossanitário da cultura. Nessa época, os sistemas de produção envolviam altos custos operacionais devido à utilização de sementes importadas, grandes quantidades de agroquímicos e baixas produtividades, resultando em uma oferta de mercado insuficiente e preços substancialmente elevados, o que tornava o produto inacessível à maior parte da população (VILELA et al., 1997).

No final da década de 50, empenhada no melhoramento de hortaliças, a Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ-USP), submeteu sementes de cenoura às técnicas de melhoramento genético e aclimatação (VILELA; BORGES, 2008), mas somente em 1976, sob forte rigidez da oferta interna e em meio às crescentes importações de cenoura, houve um maior



investimento na pesquisa agrícola, levando o Centro Nacional de Pesquisa de Hortaliças, EMBRAPA HORTALIÇAS, a iniciar um programa de melhoramento genético, em trabalho conjunto com a ESALQ USP, com o objetivo de obter cultivares mais produtivas e resistentes à queima-das-folhas. Os trabalhos de seleção culminaram, em 1981, com o lançamento da cultivar Brasília e, em 1983, com o da cultivar Kuronan, associadas a novas técnicas de produção (VILELA et al., 1997).

As novas cultivares difundiram-se rapidamente devido à perfeita adaptabilidade às condições edafo-climáticas de todas as regiões brasileiras, dado ao excelente nível de resistência à queima-das-folhas. Com esse efeito, o cultivo de cenoura tornou-se possível durante o ano inteiro, com a regularização do abastecimento deste produto no País.

A cenoura é a espécie de maior importância econômica na família Apiaceae (Umbelliferae). A planta, herbácea, possui um caule pouco perceptível, situado no ponto de inserção das folhas, formadas por folíolos finamente recortados, com pecíolo longo e afilado. Na etapa vegetativa do ciclo, apresenta um tufo de folhas em posição vertical, atingindo 50 cm de altura. Entretanto, quando entra em floração, o caule pode ultrapassar 1,5 m de altura e, no topo, desenvolvem-se numerosas flores esbranquiçadas reunidas em umbelas compostas. Os frutos são secos (diaquênios), sendo a semente a metade de um fruto (FILGUEIRA, 2008).

A planta é bienal, embora cultivada como anual. As cultivares podem ser agrupadas conforme sua adaptação termoclimática, graças ao notável trabalho de melhoramento genético (FILGUEIRA, 2008).

As cultivares do Grupo Nantes (de inverno), semeadas no outono-inverno, são, geralmente, de origem europeia e as cultivares do grupo Brasília (de verão), que engloba aquelas selecionadas para semeadura na primavera-

verão, brasileiras (Brasília, Carandaí, Alvorada e Esplanada), sendo a cultivar Brasília mais plantada nessa estação do ano (FILGUEIRA, 2008).

A parte comestível da cenoura é uma raiz pivotante, tuberosa, carnuda, lisa, reta e sem ramificações, de formato cilíndrico ou cônico e de coloração alaranjada (FILGUEIRA, 2008). A principal função desse tipo de raiz é o acúmulo de reservas de nutrientes, sendo muito utilizada na alimentação humana. A figura 1a apresenta a morfologia externa da cenoura. O conhecimento dessa morfologia é de suma importância no processo de classificação e comercialização da cenoura.

A organização interna da raiz é mais simples e, filogeneticamente, mais primitiva que o caule (Figura 1b). Um corte na estrutura transversal da raiz mostra três sistemas de tecidos: a epiderme (sistema dérmico), o córtex (sistema fundamental) e os tecidos vasculares (sistema vascular), o córtex, que está localizado logo abaixo da epiderme, compõe a principal parte da raiz e seu principal objetivo é acumular amido e o caroteno (Figura 2). Para que ocorra um grande acúmulo de reservas, há uma intensa proliferação dos tecidos, principalmente, do parênquima de reserva (CASTRO, 2015b).

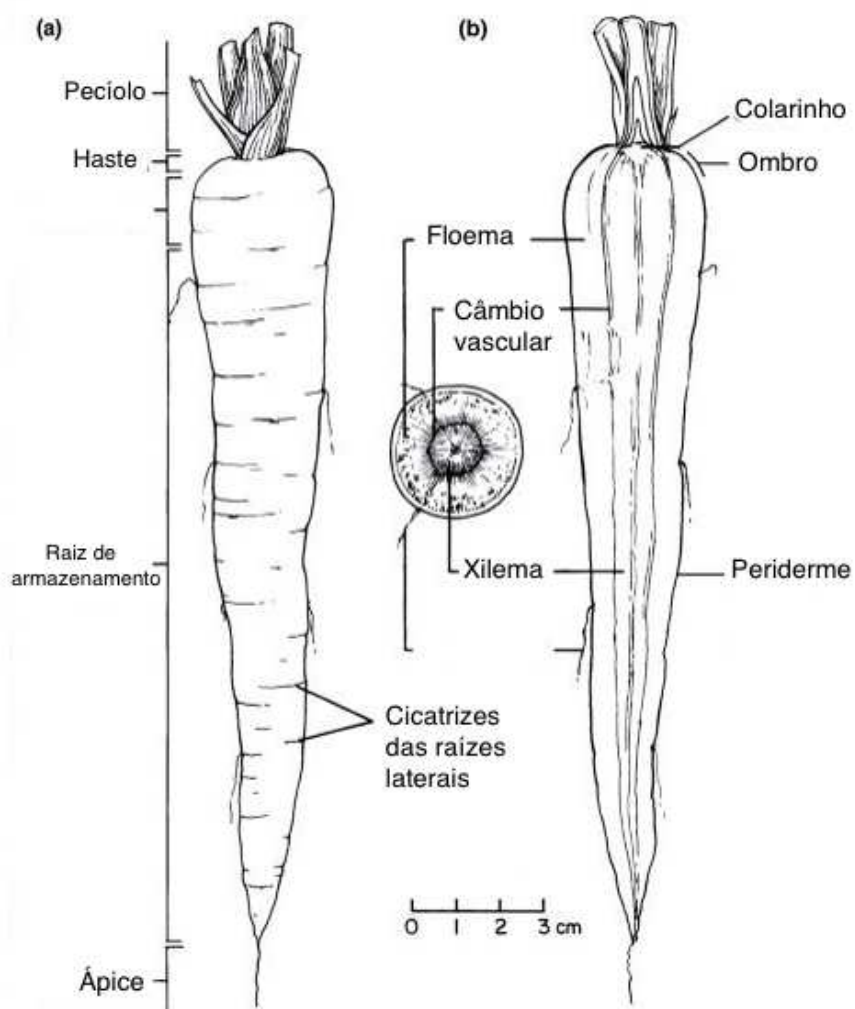


Figura 1 Esquemas da morfologia externa (a) e da morfologia interna da cenoura (b). Fonte: World Carrot Museum (2015).

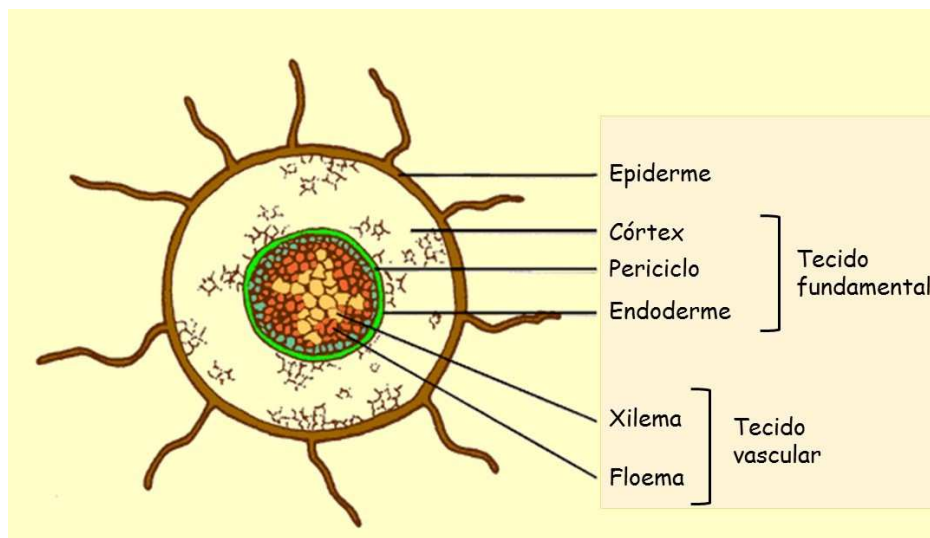


Figura 2 Esquema de um corte transversal da cenoura. Fonte: World Carrot Museum (2015).

### 2.1.1 Características sensoriais e nutricionais da cenoura

A cenoura tem grande aceitação pela excelente palatabilidade e alto teor de caroteno, açúcares, terpenóides e fenólicos. O teor de caroteno varia de 6 a 12 mg/100g de massa fresca; os açúcares solúveis (sacarose, glicose e frutose) respondem por cerca de 34 a 70% da matéria seca das raízes (PUIATTI et al., 2007), sendo importante determinante do sabor da cenoura (LANA; VIEIRA, 2000). Os terpenóides estão relacionados com o sabor e o aroma da cenoura. A cenoura possui grande quantidade de vitamina A, na forma de seu precursor, o  $\beta$ -caroteno, nutriente importante para a visão, na prevenção da xerofthalmia, sendo rica em outras vitaminas como B1 e B2 e em sais minerais, como o Ca, P, Fe e Mg (GALLAGHER, 2005; SHARMA et al., 2012).

As fibras, importantes para o funcionamento do intestino, também estão presentes na cenoura e constituem mais uma razão para o seu uso na alimentação

diária, compostas principalmente por pectinas e celulose (MATTOS; MARTINS, 2003; FARIÑA et al., 2007).

Segundo Rani e Kawatra (1994) e Sharma et al. (2012) a cenoura contém, em base seca, 81% de celulose, 9% de hemiceluloses, 2,5% de lignina e 7,5 % de pectina. Assim, pode-se afirmar que a cenoura constitui-se em um potencial material para obtenção de celulose micro/nanofibrilada.

As moléculas de celulose se agregam e formam as microfibrilas de celulose, que ficam dispostas nas camadas da parede celular dos vegetais. A figura 3 mostra um esquema da disposição das microfibrilas de celulose na parede celular da cenoura. Será apresentada uma revisão mais aprofundada a respeito deste assunto no item 2.3.2 do presente referencial teórico.

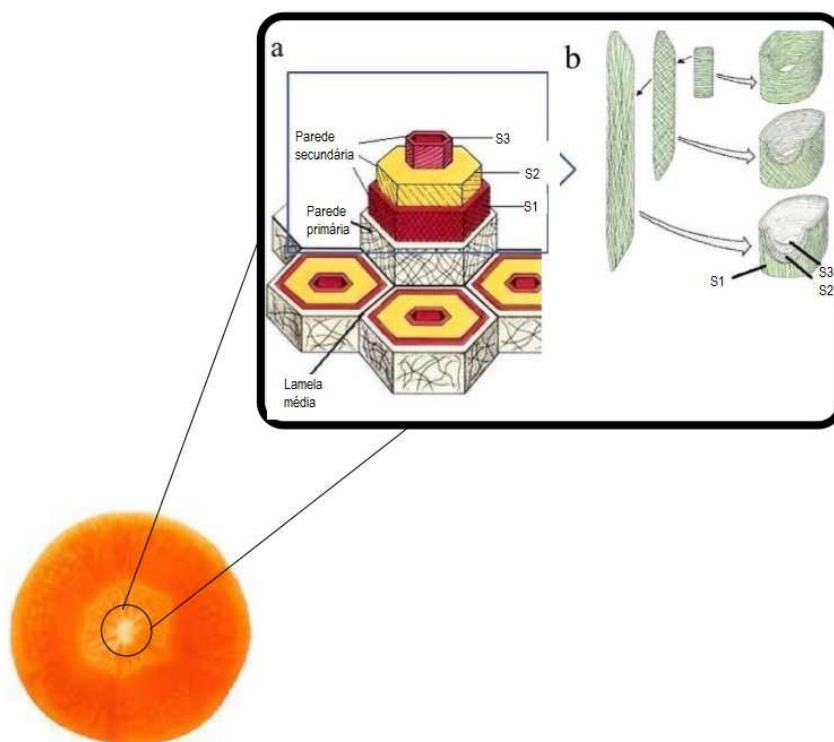


Figura 3 Esquema da disposição das microfibrilas de celulose na parede celular da cenoura. Fonte: Adaptado de Castro (2015a).

### 2.1.2 Cultivo da cenoura no Brasil e no mundo

A cenoura constitui uma das principais hortaliças cultivadas no mundo e tem uma grande importância econômica. A produção mundial de cenouras em 2015, segundo a FAO, foi de aproximadamente de 37 milhões e mil toneladas, sendo a China o maior produtor de cenoura no mundo, seguida do Uzbequistão (FAO, 2016).

A cenoura é a quinta hortaliça cultivada no Brasil de ordem de importância econômica, porém, apesar da importância, órgãos oficiais não dispõem de informações atualizadas sobre a estimativa de produção (CARVALHO et al., 2013), por isso o Brasil não entra na estatística da FAO.

Segundo dados da Embrapa Hortaliças, a produção no Brasil no ano de 2014 foi de 760,32 mil toneladas, sendo observada uma queda de 2,5% em volume em relação à safra anterior, apresentando uma área total de produção de 24,560 mil hectares, registrando queda de 5,5% em relação aos 26 mil hectares de 2013, porém estas quedas foram amenizadas pelo crescimento em 3% em produtividade (de 30,06 t/ha em 2013 para 30,96 t/ha em 2014) (ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS, 2015).

Conforme especialistas do Centro de estudos Avançados em Economia Aplicada da Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz (Cepea/Esalq), a produção de cenoura no Brasil é dividida em duas safras: a safra de Inverno que ocorre entre julho a dezembro do mesmo ano, e a safra de verão que inicia no mês de dezembro e vai até julho do ano seguinte. Segundo o levantamento para safra de inverno de 2015, a área plantada foi em torno de 5.973 hectares, mantendo-se constante nas regiões de Minas Gerais, Paraná e Rio Grande do Sul em relação à safra anterior, e apresentando queda em Goiás e na Bahia, de 17,2% e 7,4%, respectivamente. Na safra de verão de 2014/2015 a área de plantio foi de 9.524 hectares. Para a Safra 2015/2016, estima-se aumento de 30 hectares na área de plantio em relação à safra anterior, sendo prevista estabilidade da área plantada para Goiás, Minas Gerais e Bahia e aumento em 20% para Paraná e em 12,6% para Rio Grande do Sul (ANUÁRIO, 2015).

Segundo PROHORT (2016) (Programa Brasileiro de Modernização do Mercado Hortigranjeiro) o volume anual comercializado de cenoura foi de aproximadamente 320 mil toneladas em todas as CEASAS do Brasil, movimentando cerca de R\$ 490 milhões no ano de 2015, apresentando queda de 5% na quantidade comercializada e aumento de 20% no valor de comercialização em relação ao ano de 2014 (Tabela 2). O Estado de Minas Gerais é o responsável pela produção do maior volume de cenouras comercializadas nas CEASAS, cerca de 380 mil toneladas do produto, onde a

região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba correspondeu a 49% do volume comercializado movimentando mais de R\$ 158 milhões na região, tendo destaque as cidades de São Gotardo e Rio Paranaíba, que juntas produziram 34% da cenoura nacional no ano de 2014.

No aspecto da exploração econômica da cenoura, o Censo Agropecuário de 2006 registra o número de 23.089 estabelecimentos, onde nas propriedades com áreas menores de 5 hectares representa 36%, propriedades de 5 a 100 hectares representam 60%, e propriedades maiores que 100 hectares representam 4 % dos estabelecimentos (IBGE, 2006).

Na cadeia produtiva da cenoura, as sementes (insumos) e as raízes (produtos), movimentam os setores de produção de insumos (corretivos, fertilizantes, sementes, embalagens), o setor de serviços e transportes, as empresas terceirizadas para classificação, beneficiamento e embalagem, agroindústrias e serviços, e os setores de distribuição (empresas terceirizadas, mercado atacadista e varejista, setor de refeições coletivas) e traders. Com relação à geração de empregos, estima-se que 150 mil postos de trabalho são gerados anualmente, no setor primário da produção de raízes, ou seja, de 3 a 4 empregos diretos e o mesmo número de empregos indiretos, considerando apenas o setor da produção (SAASP, 1997).

### **2.1.3 Colheita, pós-colheita e comercialização da cenoura**

A colheita de cenoura, para cultivares utilizadas no Brasil, tem sido efetuada de 80 a 120 dias após a semeadura, dependendo da cultivar e das condições edafoclimáticas (PUIATTI et al., 2007). O ponto de colheita, que corresponde ao tamanho de raiz associado com a máxima qualidade, é atingido quando há amarelecimento e secamento das folhas mais velhas e o arqueamento das folhas novas. Contudo, é relativamente comum, a definição da época de



colheita das raízes de cenoura prioritariamente com base no preço do produto no mercado, e não no estágio de desenvolvimento da cultura (VILELA et al., 1997).

As cenouras são arrancadas manualmente ou em sistema semi-mecanizado, acoplando-se uma lâmina cortante no sistema hidráulico do trator. A passagem prévia de uma lâmina cortante, tracionada por baixo do canteiro e a 30 cm de profundidade (sistema semi-mecanizado), facilita a colheita (FILGUEIRA, 2008). As folhas são removidas e faz-se a pré-seleção no campo (descarte de raízes sem padrão comercial) (PUIATTI et al., 2007), e as cenouras selecionadas mantidas à sombra ou protegidas da insolação direta (VILELA et al., 1997).

O preparo das raízes para envio ao mercado envolve as seguintes operações: lavagem, seleção, classificação e embalagem. Essas operações são realizadas em locais distintos ou em uma casa de embalagem (VILELA et al., 1997).

O beneficiamento consiste na lavagem (através de lavadores cilíndricos rotativos ou de esteira) (PUIATTI et al., 2007), no corte do talo, rente à raiz tuberosa, e na eliminação de radículas laterais, também da ponta afilada (FILGUEIRA, 2008).

A seleção consiste na eliminação de cenouras deformadas, deterioradas, quebradas, rachadas, florescidas ou com outros defeitos que as tornem impróprias para o consumo. As normas oficiais para comercialização da cenoura estão descritas na Portaria n° 75 de 25 de fevereiro de 1975 do MAPA, que estabelece as normas de classificação, qualidade e embalagem do produto (PUIATTI et al., 2007), embora a Instrução Normativa Conjunta SARC/ANVISA/INMETRO N° 009, de 12 de novembro de 2002, relativa às embalagens próprias para a comercialização de produtos hortícolas, deva ser respeitada. Não obstante, contrariando essa instrução normativa, encontra-se, com frequência, as cenouras ainda sendo comercializadas nas tradicionais caixas

“K”, que comportam 23-26 kg, embalagens inapropriadas. Embalagens de papelão ou plásticas, já adotadas por algumas CEASAS, devem ser utilizadas.

Os produtos comercializáveis da maioria das hortaliças são classificados como perecíveis por não se conservarem por longos períodos após serem colhidos, sendo, em alguns casos, mantidos por apenas alguns dias, quando armazenados em condições ambientes. As perdas pós-colheita são decorrentes de fatores metabólicos endógenos como respiração, transpiração, senescência e brotamento, ocasionadas por estresse, quando o produto é armazenado em condições ambientais adversas de temperatura e umidade relativa, ou por injúria mecânica e ataque por patógenos; além das resultantes da intervenção humana, como manuseio ou uso de tecnologias inadequadas de armazenamento (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Mantidas sob condições ambientais, as cenouras perdem a turgescência poucos dias após a colheita (FILGUEIRA, 2008). A cenoura, após a colheita, continua a respirar e a deteriorar-se. A taxa de deterioração é altamente influenciada por condições do ambiente (temperatura e composição atmosférica do ar) e danos mecânicos.

Após a colheita da cenoura, a principal alteração física que ocorre é a perda de água, que se inicia na epiderme e se estende para os demais tecidos. Ocorre então redução da qualidade visual, devido ao murchamento, enrugamento e redução do diâmetro, ocorrendo também queda da resistência à invasão dos tecidos por patógenos e redução de firmeza. Raízes mais jovens e de menor diâmetro perdem água mais rapidamente do que raízes mais velhas e mais grossas. Perda de água da ordem de 4% e 8% da matéria fresca inicial, para raízes com ou sem folhas, respectivamente, comprometem a qualidade visual do produto (LANA; VIEIRA, 2000).

Quando a perda de água atinge mais de 8% do peso da cenoura, do total perdido, apenas 3 a 5% é devido à perda de matéria seca pela atividade

respiratória (KAYS, 1991), sendo que o restante da perda é atribuído à grande determinante da perda de peso e deterioração no armazenamento de produtos hortícolas: a transpiração (WILLS et al., 1981; MEDINA, 1983; CHITARRA; CHITARRA, 2005). A intensidade da transpiração é dependente da temperatura, umidade relativa, movimentação do ar, pressão do ar e a relação superfície/volume do produto (WILLS et al., 1981; AVELAR FILHO, 1988; KAYS, 1991).

Raízes de cenoura armazenadas a 18-22°C e 50-70% de umidade relativa sem movimentação de ar, após 24 horas, apresentam perda de matéria fresca em torno de 2,8-5,6% da matéria fresca inicial (MÜLLER, 1982). Considerando-se que estes valores de perda de matéria fresca comprometem a qualidade visual das raízes, perdas consideráveis podem ocorrer nestas condições, em apenas um dia após a colheita (LANA; VIEIRA, 2000).

Em função da taxa respiratória (quantidade de CO<sub>2</sub> produzido), pode-se classificar o produto quanto à perecibilidade, pois quanto maior a taxa de calor e de CO<sub>2</sub> produzido, menor é a vida do produto no armazenamento (CHITARRA; CHITARRA, 2005). A perecibilidade de cenoura em função da taxa respiratória (5-10 mg CO<sub>2</sub>/kg/hora a 5°C) é considerada baixa quando comparada com outras hortaliças (Tabela 1) (KADER, 1987).

Tabela 1 Perecibilidade de algumas hortaliças em função da taxa respiratória (CO<sub>2</sub>/Kg/hora a 5°C)

Classe	Taxa respiratória (ml CO <sub>2</sub> /Kg.h a 5°C)	Hortaliças
Muito baixa	menor que 5	batata,cebola, alho
Baixa	5--10	cenoura,beterraba,repolho, abóbora,pepino
Moderada	10--20	couve-flor,quiabo,berinjela
Alta	20--30	alcachofra, couve-de-bruxelas, espinafre
Muito alta	maior que 30	aspargo,milho verde, brócolis

Fonte: Adaptado de Kader (1987).

O calor produzido pela respiração da cenoura, denominado calor vital, é cerca de 673 Kcal para cada mol de açúcar utilizado. Esta quantidade de calor deve ser considerada no dimensionamento de sistemas de transporte e de refrigeração, na seleção de métodos de pré-resfriamento, no desenho e no empilhamento de embalagens (LANA; VIEIRA, 2000). Como a taxa respiratória aumenta com o aumento da temperatura, a quantidade de calor vital produzida também aumenta (AVELAR FILHO, 1988).

A perda de água pós-colheita exerce também efeitos na fisiologia dos produtos hortícolas, podendo afetar a produção de etileno, concentração de ácidos orgânicos, degradação de pigmentos e compostos voláteis, além de induzir alterações no padrão de síntese de carboidratos e proteínas (KAYS, 1991).

Em relação ao teor de açúcares, durante o armazenamento de cenoura, carboidratos de maior massa molecular são decompostos em carboidratos de menor massa molecular. O teor de dissacarídeos, como sacarose decresce durante o armazenamento em longo prazo, enquanto o de monossacarídeos, principalmente glicose e frutose, aumentam. Quanto maior a taxa de

sacarose/monossacarídeos, maior é a durabilidade das raízes após a colheita (LANA; VIEIRA, 2000).

O etileno é um gás naturalmente produzido pela raiz, sobretudo quando há injúria mecânica. Em cenoura, o etileno pode causar, após a colheita, efeitos adversos, como aumento da respiração e o estímulo da síntese de isocumarina, que leva ao desenvolvimento de gosto amargo (PUIATTI et al., 2007).

Segundo Barruffaldi et al. (1983), o aumento na perda do teor de carotenos pode variar em função das condições de armazenamento, pela presença de luz e oxigênio e da temperatura, que afeta a atividade enzimática responsável pela degradação de carotenos. Com a perda excessiva de água pelas raízes da cenoura ocorre um pequeno aumento do teor de carotenoides durante o armazenamento como efeito de concentração (LANA; VIEIRA, 2000).

Ainda que em condições ótimas de armazenamento, ocorre, após alguns meses, uma visível deterioração da epiderme, devido à oxidação e ao escurecimento dos tecidos superficiais. Este processo é predominantemente oxidativo e mediado por polifenoloxidasas e cenouras mais imaturas são mais susceptíveis (LANA; VIEIRA, 2000).

De modo geral, as técnicas utilizadas no manejo pós-colheita não melhoram a qualidade do produto, apenas retardam os processos deteriorativos, que são irreversíveis, pela redução da velocidade da perda de água ou transpiração, do processo de respiração e por diminuir o ataque de microrganismos que causam doenças e danificam o produto (BALBINO, 1983; PINTO et al., 1984). As alterações que as raízes podem ter quando armazenadas dependem não só das condições de armazenamento - especialmente umidade relativa do ar e temperatura - mas do manuseio e dos tratamentos culturais recebidos durante o ciclo vegetativo (MÜLLER, 1982).

## **2.2 Processamento Mínimo de Vegetais**

No Brasil, ocorrem perdas significativas de produtos agrícolas no campo e na fase pós-colheita, mesmo havendo grande disponibilidade desses produtos acessíveis a substancial parcela da população. Essas perdas ocorrem devido à produção desorganizada e o escasso uso de tecnologias adequadas no cultivo, manuseio, armazenamento e conservação (PILON, 2003).

Em países em desenvolvimento, grande parte da perda de alimentos ocorre nas etapas de pós-colheita e de processamento, sendo necessário a aplicação de medidas de controle por parte do produtor, por meio de programas de conscientização, técnicas pós-colheita adequadas, melhorias nas instalações de armazenamento e cadeia do frio. Já em países industrializados observa-se grande perda também nas etapas do varejo e consumo, fazendo com que as soluções direcionadas ao produtor passem a ter menor importância, uma vez que grandes quantidades de alimentos são perdidas pelos consumidores (Figura 4) (FAO, 2011).

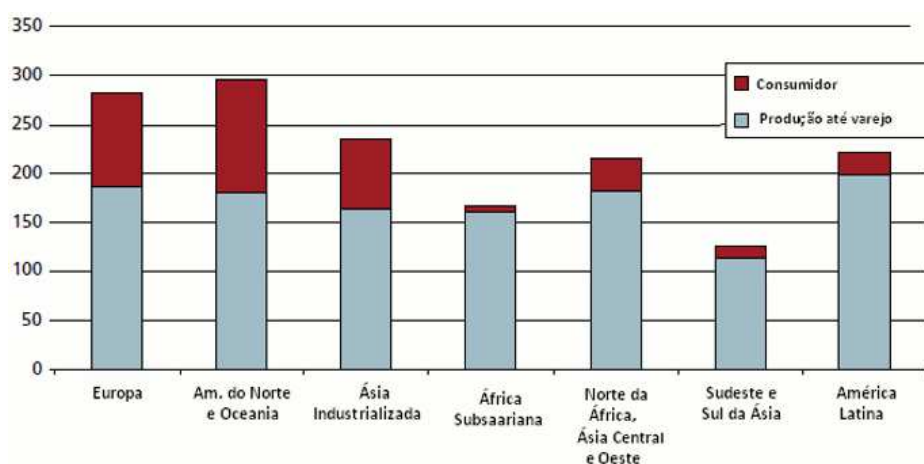


Figura 4 Perda de alimento per capita (kg.ano<sup>-1</sup>) no consumo e em etapas antes do consumo em diferentes regiões do mundo. Fonte: FAO (2011).

Diversas tecnologias podem ser empregadas para diminuir desperdícios após a colheita e levar a um melhor aproveitamento de frutas e hortaliças. Uma

das tecnologias amplamente utilizada para este fim é o processamento mínimo de frutas e hortaliças.

Segundo a International Fresh Cut Producers Association (IFPA), produtos minimamente processados são frutas ou hortaliças modificadas fisicamente, mas que mantêm o seu estado fresco. Assim, o produto minimamente processado é qualquer fruta ou hortaliça, que tenha sido fisiologicamente alterado, mas permanece no estado fresco (CENCI, 2011).

A preparação desses produtos envolve operações de lavagem da matéria-prima, sanitização, descascamento, corte, enxague, centrifugação, embalagem e armazenamento. O processamento mínimo torna as frutas e hortaliças mais perecíveis do que quando íntegras, pois estas passam a ter respostas fisiológicas semelhantes a dos produtos que sofreram injúrias, isto é, aumento da respiração e produção de etileno, escurecimento enzimático, perda de umidade, entre outros. Além disso, a retirada de tecidos protetores e a liberação de nutrientes em função do corte favorecem o desenvolvimento microbiano nesses produtos (CHITARRA, 1998; WATADA et al., 1990).

Segundo Cenci (2011), basicamente são dois os problemas a serem enfrentados quando se tem como objetivo manter o frescor das frutas e hortaliças. O primeiro problema: trata-se de tecidos vivos, nos quais inúmeras reações químicas e bioquímicas estão ocorrendo. Algumas reações, se não controladas, podem levar rapidamente à senescência do vegetal e a consequente perda de frescor. O segundo: deve-se minimizar o risco de contaminação microbiológica, uma vez que isto compromete a segurança do alimento, bem como a qualidade final do produto, já que o crescimento microbiológico pode levar a sérias alterações como o aparecimento de odores e sabores indesejáveis e/ou à alteração da cor e/ou textura do vegetal. Dessa forma, é necessário que medidas preventivas sejam aplicadas a produtos processados minimamente,

como utilização das boas práticas de fabricação, emprego de embalagens e temperaturas adequadas a cada produto, entre outros.

Diversas tecnologias de preservação estão sendo pesquisadas a fim de assegurar a qualidade, o aumento da vida útil, preservando os constituintes químicos de produtos minimamente processados, tais como a atmosfera modificada (GUIMARÃES et al., 2016; AMARO et al., 2015), tratamentos químicos (NUNES et al., 2011; ) e revestimentos comestíveis (GUIMARÃES et al., 2016; BIERHALS et al., 2011; OLIVAS et al., 2007). O armazenamento refrigerado e o uso de embalagem adequada são indispensáveis para a manutenção da qualidade desses produtos (MORETTI, 2007; PILON, 2011).

O que é levado em conta pelos consumidores no momento de comprar os produtos minimamente processados são a conveniência, o valor nutritivo e a segurança do alimento, além do menor desperdício doméstico na medida em que permitem ao consumidor a obtenção apenas de porções necessárias, e a oportunidade de avaliar prontamente a qualidade do produto a ser adquirido. A demanda por esses atributos levou à considerável inovação e diversificação pelas indústrias de minimamente processados, em especial no mercado norte-americano, que atualmente oferecem ao consumidor diversas opções de frutas e hortaliças dentro de uma única embalagem (ROLLE, 2010). Os produtos minimamente processados aliam conveniência e praticidade, além de atender as exigências dos consumidores por produtos saudáveis, com ótima qualidade nutricional.

O mercado de minimamente processados continuará em crescimento se os consumidores estiverem certos da segurança e da qualidade desses alimentos. Alguns desafios para a comercialização desses produtos devem ser vencidos nos países em desenvolvimento, como a preservação da qualidade na cadeia de comercialização, a manutenção da cadeia do frio e logística adequada, adequação de equipamentos e disponibilidade de tecnologias para implantação



de indústrias de processamento, e programas de certificação que garantam a qualidade e a segurança dos produtos (ROLLE, 2010).

A oferta de cenouras minimamente processadas é crescente, para suprir a necessidade de produto cortado, sanitizado e pronto para o consumo. Porém, a cenoura minimamente processada deteriora rapidamente devido às alterações bioquímicas que podem mudar o aroma e o sabor e favorecer o desenvolvimento de microrganismos (PUIATTI et al., 2007). Segundo Lima et al. (2004), o processamento mínimo ocasiona perda de até 55% no total de carotenoides de cenoura, devido, principalmente, à oxidação dos carotenoides majoritários provitamínicos A, levando a formação dos compostos  $\alpha$  e  $\beta$ -ionona. A deterioração acentua-se pelo fato do corte dos tecidos promover a ruptura da integridade de muitas células, permitindo o extravasamento de substâncias e enzimas oxidativas intracelulares (PUIATTI et al., 2007).

A cenoura minimamente processada pode ser ralada em secções de diversos tamanhos ou ser processada na forma de fatias, cubos e palitos, ou ainda, pode ser apresentada na forma de mini-cenoura (*baby carrot*) (LANA, 2000; PUIATTI et al., 2007). O fluxo básico de produção de cenouras minimamente processadas compreende as seguintes operações: recepção e lavagem em água corrente, raspagem com faca inox ou lixa d'água, sanitização com água clorada, operações de corte ou ralamento, centrifugação, seleção e embalagem (LANA, 2000).

Em todos os casos de processamento mínimo da cenoura (ralada, fatiada ou *baby carrot*), nas embalagens deve haver bom controle de temperatura, umidade relativa e composição da atmosfera, pois o crescimento de microrganismos na cenoura é bastante facilitado pela presença de carboidratos, minerais, umidade e pH neutro, além do aumento da taxa respiratória, acelerando reações de degradação do tecido, podendo apresentar taxas ainda mais elevadas, e conseqüente degradações mais acentuadas, quando

armazenadas em temperaturas inadequadas. Assim o processamento deve seguir rígidas normas de preparo, sanitização e controle de temperatura em todo o processo, inclusive durante o armazenamento do produto (SPAGNOL et al., 2006; PUIATTI et al., 2007).

### **2.3 Polímeros biodegradáveis, nanopartículas e biocompósitos**

Verifica-se nos últimos anos que os polímeros de fácil degradação ambiental têm sido alvo de vários estudos em todo o mundo, visando à redução da poluição provocada pelos materiais plásticos.

Segundo Innocentini-Mei e Mariani (2005), de forma geral, um material para ser biodegradável/compostável deve passar por duas etapas principais: Fragmentação pela ação de fatores abióticos (sol, calor, umidade etc.) gerando produtos com massa molecular de aproximadamente 1000 Daltons (por exemplo, cadeia com 6 unidades de glicose) e mineralização, ou seja, conversão desses compostos em gases, elementos inorgânicos e biomassa pela ação de microrganismos e redistribuição por meio de ciclos elementares como os do carbono, do nitrogênio e do enxofre.

O atributo de compostagem é muito importante para biopolímeros, pois a reciclagem de materiais não biodegradáveis é um recurso mais caro que a compostagem. Na compostagem, por degradação biológica produz-se apenas água, dióxido de carbono e compostos inorgânicos sem resíduos tóxicos (SIRACUSA et al., 2008).

Vários são os polímeros biodegradáveis, podendo ser divididos em 4 categorias: 1-polímeros provenientes da biomassa, como amido e celulose; 2-polímeros obtidos por produção microbiana, por exemplo os polihidroxialcanoatos (PHA, PHB, PHBV); 3- polímeros convencionalmente e quimicamente sintetizados nos quais os monômeros são obtidos de fontes agrícolas, como o ácido polilático (PLA); 4- polímeros nos quais os monômeros

e polímeros são obtidos convencionalmente por síntese química (PCL, PBSA, PBAT) (Figura 5). Porém, alguns biopolímeros originados de produtos biodegradáveis podem perder esta propriedade por meio da modificação química como a polimerização, por exemplo: o Nylon 9, polímero obtido a partir da polimerização de monômeros do ácido oleico e a Poliamida 11, obtida a partir da polimerização de monômeros do óleo rícino (AVÉROUS; BOQUILLON, 2004; SIRACUSA, et al., 2008; BIASUTTI, 2011).

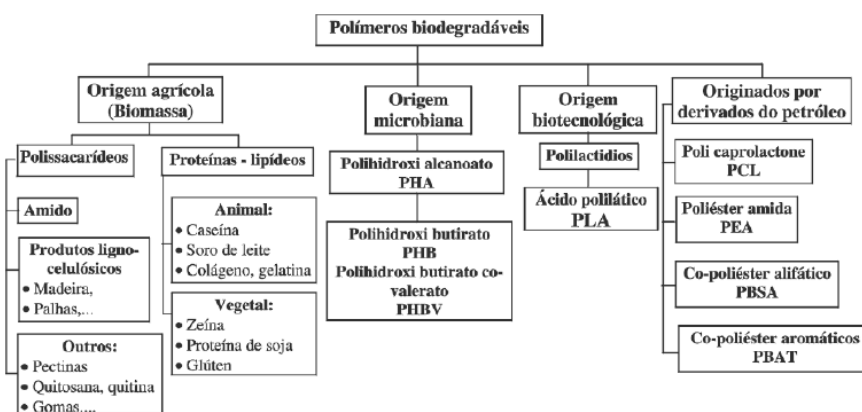


Figura 5 Classificação de polímeros biodegradáveis. Fonte: Avérous e Boquillon (2004).

Alguns biopolímeros, como o amido, apresentam propriedades mecânicas e de barreira relativamente pobres, o que pode limitar seu uso pela indústria (RHIM et al., 2013). Porém, é possível fazer uso de plastificantes e/ou da nanotecnologia (partículas em dimensão nanométrica de origem orgânica ou inorgânica), que melhoram propriedades mecânicas, térmicas e de barreira dos biopolímeros.

Os plastificantes devem ser compatíveis com o biopolímero e, geralmente, são adicionados na proporção de 10 a 60 g/g matéria seca,

dependendo do grau de rigidez do material (GONTARD e t al., 1993). Os plastificantes mais indicados para serem empregados em filmes de amido são os polióis, como o glicerol e o sorbitol, que vão proporcionar a estes materiais uma melhoria nas suas propriedades mecânicas. Eles reduzem as forças intermoleculares e aumentam a mobilidade das cadeias dos polímeros, com diminuição de possíveis descontinuidades e zonas quebradiças, resultando assim em materiais com menores temperaturas de transição vítrea ( $T_g$ ). Favorecem a transição do material de um estado vítreo, caracterizado por uma menor mobilidade molecular entre as cadeias do polímero e por uma maior rigidez, para um estado borrachento ou gomoso, de maior mobilidade molecular e, conseqüentemente, maior flexibilidade. Outros tipos de aditivos geralmente utilizados na produção de biopolímeros são os agentes antimicrobianos, vitaminas, antioxidantes, aromatizantes e pigmentos (MALI et al., 2010).

A nanotecnologia diz respeito a materiais e sistemas cujas estruturas e componentes exibem propriedades e fenômenos físicos, químicos e /ou biológicos significativamente novos e modificados, devido a sua escala nanométrica. As nanopartículas, quando incorporadas em polímeros, resultam em materiais conhecidos como nanocompósitos, que representam uma classe de compósitos em que as cargas presentes na matriz polimérica encontram-se dispersas em dimensões nanométricas no material (MEDEIROS et al., 2006).

As nanopartículas ou nanocargas empregadas na área de polímeros vêm com a evolução da tecnologia nos processos de fabricação de novos materiais, as quais proporcionam características únicas à matriz polimérica em função do seu grau de dispersão, orientação na matriz, adesão interfacial matriz-reforço, sua morfologia controlada e pequeno volume e por conseqüência sua grande área superficial (TZONG-MING; CHENG-YANG, 2006). Elas podem ser classificadas pela origem: orgânica (ex. nanocelulose) ou inorgânica (ex. argila montmorilonita) ou de acordo com o número de dimensões que elas possuem na

escala nanométrica (Figura 6), correspondendo aos grupos lamelares, no qual uma das três dimensões da partícula de reforço está na escala nanométrica (grafeno e argila montmorilonita); fibrosas, possui duas dimensões nanométricas (nanocristais de celulose e nanotubos de carbono) e isodimensionais ou esféricas, no qual todas as dimensões encontram-se na escala nanométrica (nanopartículas metálicas, negro de fumo e nanocarga de sílica) (BRADLEY et al., 2011; TIDJANE; WILKIE, 2001).

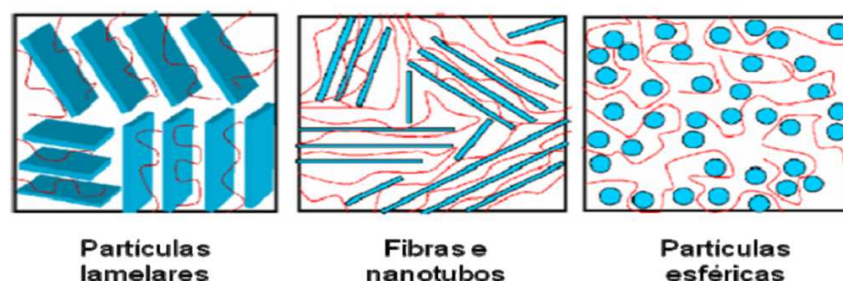


Figura 6 Tipos de nanopartículas. Fonte: Liberman (2005).

Os biocompósitos são materiais constituídos por uma fase dispersante (contínua), que é o biopolímeros, e por uma fase dispersa (descontínua), que pode ser uma nanocarga ou uma nanopartícula. Em geral, os biocompósitos se referem aqueles constituídos por um único ou uma mistura de biopolímeros com pelo menos um agente de reforço orgânico ou inorgânico (MIHINDUKULASURIYA; LIM, 2014). Os biocompósitos exibem elevadas propriedades de barreira e mecânica, e melhor resistência ao calor em comparação aos seus biopolímeros puros (RHIM et al., 2013).

### 2.3.1 Amido

O amido é um bioplástico amplamente utilizado, e é na verdade, um polissacarídeo de reserva em vegetais. Ele está contido em uma ampla variedade

de plantas, tais como cereais (50- 80%), leguminosas (25-50%) e tubérculos (60-95%) e apresenta-se na forma de grânulos semicristalinos. Os grânulos de amido são constituídos de duas macromoléculas principais: a amilose e a amilopectina (Figura 7), em proporções que variam entre os amidos procedentes de diferentes espécies vegetais. Para amidos provenientes de mesma espécie o conteúdo de amilose e de amilopectina varia de acordo com o grau de maturação das plantas. A proporção destes dois polímeros influencia a viscosidade e o poder de geleificação do amido (REEDY et al., 2013; BOBBIO; BOBBIO, 1992).

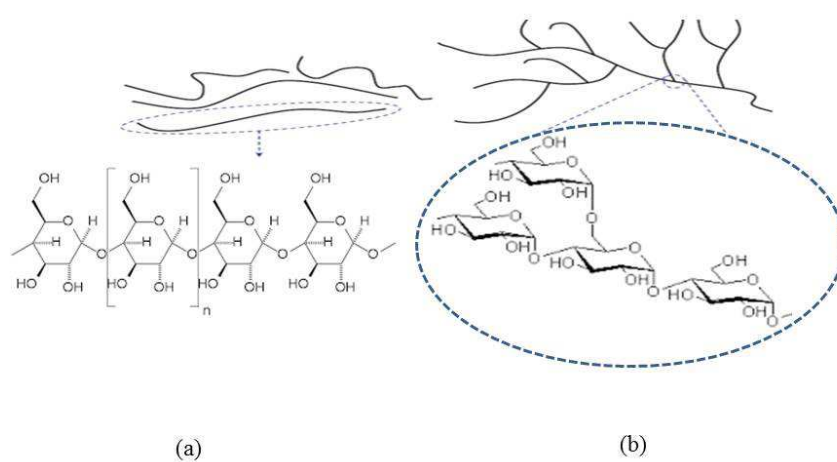


Figura 7 Estrutura química da amilose (a); Estrutura química da amilopectina (b). Fonte: Adaptado de Xie et al. (2013).

A amilose apresenta estrutura relativamente longa, linear, contendo aproximadamente 99% de ligações  $\alpha(1 \rightarrow 4)$ , formada por unidades de

anidroglicose e com massa molar de aproximadamente  $1 \times 10^5$ - $1 \times 10^6$  g/mol, enquanto que amilopectina é uma molécula maior, ramificada, constituída de 95% de ligações  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  4) e 5% de ligações  $\alpha$  (1  $\rightarrow$  6), também formada por unidades de anidroglicose e massa molar próxima de  $1 \times 10^7$ -  $1 \times 10^9$  g/mol. A cristalinidade dos grânulos de amido é atribuída principalmente à amilopectina e não a amilose, que embora seja linear, apresenta uma conformação que dificulta sua associação regular com outras cadeias (CORRADINI et al., 2005).

Pelo caráter semicristalino, os grânulos de amido apresentam birrefringência quando observados em microscópio óptico sob luz polarizada. A parte linear das moléculas de amilopectina forma estruturas helicoidais duplas, estabilizadas por ligações de hidrogênio entre grupamentos hidroxila, dando origem às regiões cristalinas dos grânulos. A região amorfa é composta pelas cadeias de amilose e pelas ramificações da amilopectina (SOUZA; ANDRADE, 2000).

Para a obtenção de um material termoplástico a base de amido, sua estrutura granular semicristalina precisa ser destruída para dar origem a uma matriz polimérica homogênea e essencialmente amorfa (LIU, 2005). Os fenômenos que possibilitam a destruição da organização dos grânulos de amido são a gelatinização e a fusão. A gelatinização é a transformação irreversível do amido granular em uma pasta viscoelástica, fenômeno que acontece na presença de excesso de água e leva à destruição da cristalinidade e da ordem molecular do grânulo através do rompimento das ligações de hidrogênio que, inicialmente, mantinham a integridade deste. Por outro lado, quando o amido é aquecido na presença de pequenas quantidades de água, o fenômeno que indica o rompimento dos seus grânulos é conhecido como fusão, exigindo temperaturas bem maiores para acontecer a gelatinização (MALI et al., 2010).

A aplicação do amido na produção de filmes se baseia nas propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose para formar géis e na sua capacidade

para formar filmes. As moléculas de amilose em solução, devido à sua linearidade, tendem a se orientar paralelamente, aproximando-se o suficiente para que se formem ligações de hidrogênio entre hidroxilas de polímeros adjacentes. Como resultado, a afinidade do polímero por água é reduzida, favorecendo a formação de géis opacos e filmes resistentes (WURZBURG, 1986). O amido vem sendo bastante estudado por pesquisadores brasileiros para a produção de embalagens biodegradáveis (OLIVEIRA; CEREDA, 2003; MALI et al., 2004; 2005; ALVES, 2007; SHIMAZU et al., 2007).

As principais fontes comerciais de amido são o milho, a batata, o arroz, o trigo e a mandioca (ELLIS et al., 1998), porém, dentre outras fontes promissoras para a obtenção de amido estão os tubérculos de inhame (*Dioscorea alata*) e os grãos de aveia (*Avena sativa*) (MALI et al., 2010).

### **2.3.2 Celulose e micro/nanofibrilas de celulose**

A celulose é um abundante polímero natural, pois é o principal componente estrutural de células vegetais, sendo encontrada em toda a natureza. É amplamente utilizada em aplicações industriais de diferentes formas. Ela é principalmente obtida a partir de madeira e de algodão, e está presente em muitas aplicações; por outro lado, a celulose também vem sendo extraída a partir de subprodutos agrícolas, tais como bagaço, talos e palhas de diversas culturas (REDDY et al., 2013).

Celulose é um polissacarídeo homogêneo linear baseado em unidades repetidas de  $\beta$ -1,4-D-glicopiranoose, unidas por ligações glicosídicas do tipo  $\beta$  (1  $\rightarrow$  4), com um grau médio de polimerização de 3000-15000, dependendo da fonte que foi extraída (MALMSTROM; CARLMARK, 2012). Ela está presente na parede celular das células dos vegetais, ocorrendo na forma de fibrilas finas que apresentam dimensões na escala nanométrica (microfibrilas). Seu diâmetro varia aproximadamente de 3-5 nm, enquanto que o comprimento é de mais de 1



$\mu\text{m}$  (EICHHORN et al., 2010; IOELOVICH, 2008). A figura 8 representa uma imagem da parede celular da cenoura gerada por microscopia de força atômica (AFM), mostrando as microfibrilas de celulose.

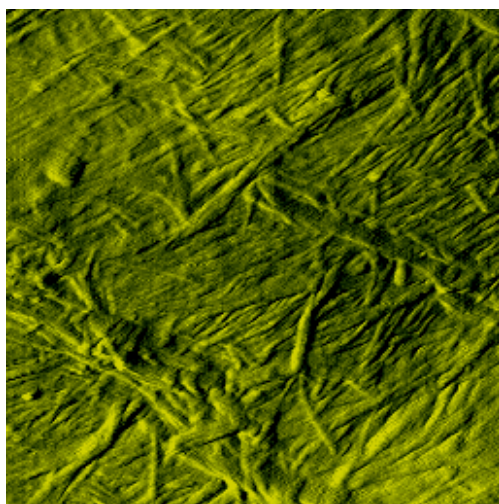


Figura 8 Imagem por AFM da parede celular de cenoura. Os filamentos são microfibrilas de celulose. Fonte: Kirby et al. (1996).

As microfibrilas de celulose estão dispostas nas camadas da parede celular de forma variada. Na parede primária estão depositadas sobre a lamela média de modo irregular conferindo-lhe elasticidade. As camadas S1, S2 e S3 formam a parede secundária, que se diferenciam pela orientação das microfibrilas. Destas três camadas, a S2 é a mais importante, já que é a mais espessa com 2 a 5  $\mu\text{m}$ , representando de 70 a 75% do total da parede celular. O ângulo entre as microfibrilas e o eixo longitudinal da fibra na camada S2 é de cerca de  $20^\circ$ . Já nas camadas S1 e S3, as microfibrilas estão dispostas formando um ângulo de  $60^\circ$  a  $90^\circ$  em relação ao eixo longitudinal da fibra (KOLLMANN; COTÉ, 1968). A figura 9 apresenta um esquema das camadas da

parede celular (a), bem como um esquema da disposição das microfibrilas de celulose nas camadas da parede celular secundária (b).

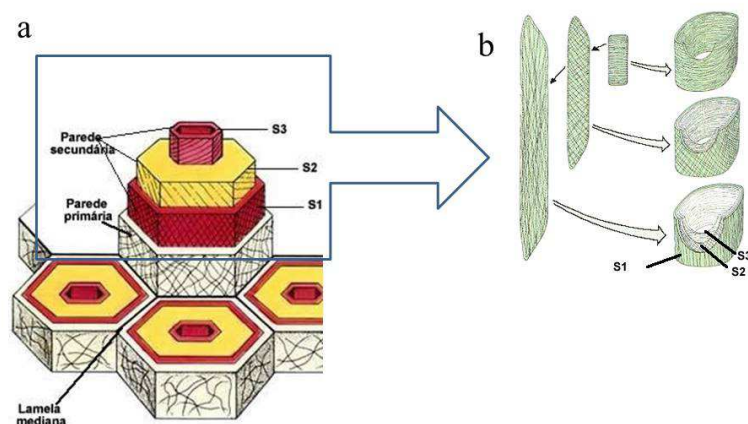


Figura 9 a) Camadas de uma parede celular completa; b) Esquema da disposição das microfibrilas de celulose nas camadas da parede secundária. Fonte: Adaptado de Castro (2015a).

As microfibrilas consistem de regiões monocristalinas ligadas a regiões amorfas, sendo que as regiões monocristalinas se apresentam em maior quantidade, 60 a 80%. Um esquema das regiões amorfas e cristalinas da celulose pode ser observado na figura 10. Na parede celular vegetal, as microfibrilas se agregam em estruturas maiores, denominadas macrofibrilas (Figura 11). Essa estrutura é que, essencialmente, necessita ser desconstruída para gerar micro/nanofibrilas de celulose (Figura 10) (IOELOVICH, 2008; MÓRAN et al., 2008; OKSMAN et al., 2006; EICHHORN et al., 2010). As celulosas

micro/nanofibriladas, ou ainda, micro/nanofibrilas de celulose compreendem unidades fibrosas ou cristalinas de celulose entre 5 a 500 nm em diâmetro com comprimento de alguns micrómetros (WANG; SAIN, 2007).

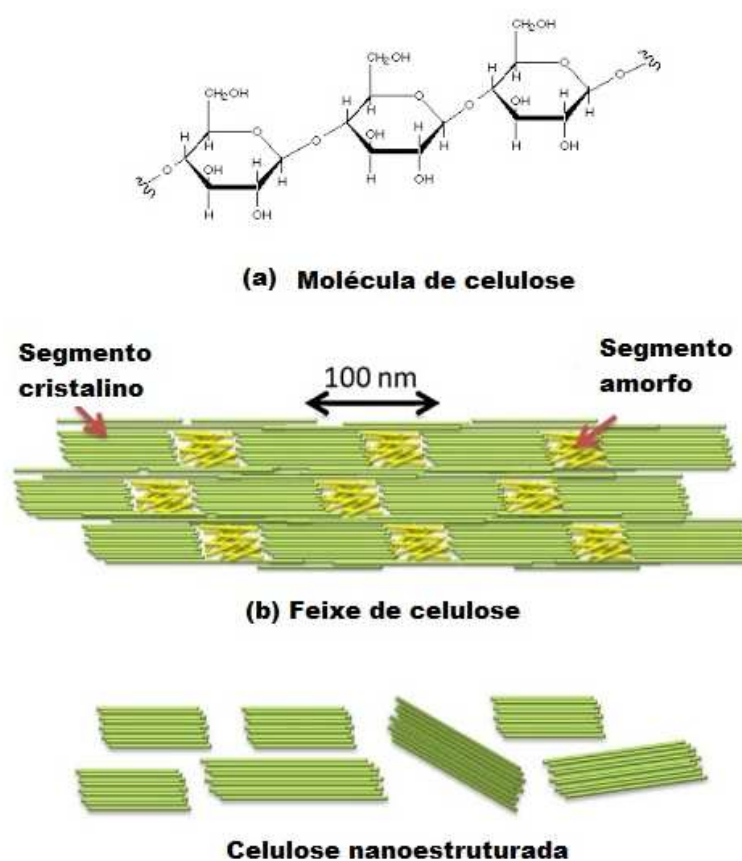


Figura 10 Esquemas de (a) uma única unidade da cadeia repetida de celulose; (b) microfibrilas de celulose, apresentando configurações de regiões cristalinas e amorfas; e (c) nanocristais de celulose após hidrólise ácida. Fonte: Adaptado de Reddy et al. (2013).

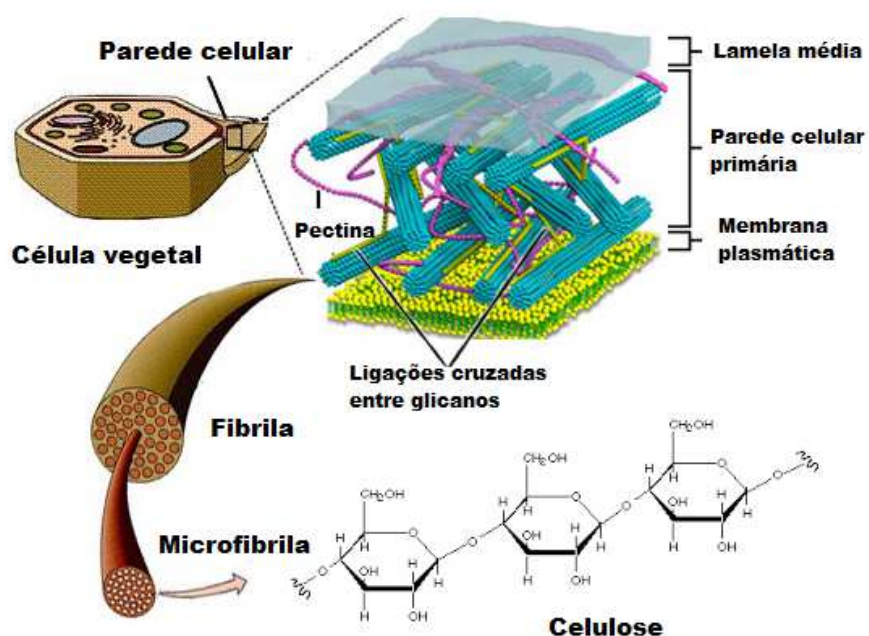


Figura 11 Esquema representando fibrilas, microfibrilas e celulose na parede celular de vegetais. Fonte: Adaptado de Alexander Silberman Institute of Life Sciences (2015).

Os diversos atributos favoráveis da celulose, como material de baixo custo, biodegradável e renovável, fazem das micro/nanofibrilas obtidas da mesma, algo muito atrativo para uso como reforços na preparação de biocompósitos. (WANG; SAIN, 2007). As estruturas de micro/nanofibrilas de celulose são estabilizadas por ligações de hidrogênio com altos níveis de cristalinidade, o que as torna um material ideal de reforço em materiais poliméricos. Em geral, biocompósitos reforçados com micro/nanofibrilas de celulose extraídos de recursos renováveis exibem propriedades térmica, mecânica e de barreira superiores quando comparados com biocompósitos

contendo reforços macro, com a vantagem adicional de biodegradabilidade (WAN et al., 2009).

Diferentes métodos podem ser utilizados para obtenção das micro/nanofibrilas de celulose. O método químico, que é um dos mais utilizados, trata-se da aplicação de uma hidrólise ácida, que remove as regiões amorfas, enquanto regiões cristalinas permanecem intactas, por este método é possível obter estruturas puramente cristalinas, chamadas de nanowhiskers, whiskers ou ainda nanocristais de celulose (GARDNER et al., 2008; CORRÊA et al., 2010; SIQUEIRA et al., 2009; TONOLI et al., 2012). Existe ainda a possibilidade de extração por método enzimático seguido por tratamento de cisalhamento e pressão (SVAGAN et al., 2009; PÄÄKO et al., 2007; BERGLUND, 2005) e o método de extração mecânica (KAUSHIK et al., 2010).

Os métodos mecânicos de obtenção de micro/nanofibrilas de celulose levam a obtenção de estruturas contendo partes cristalinas e amorfas e como exemplos podem ser citados: refino ou cisalhamento (SYVERUD et al., 2011), microfluidização (ZIMMERMANN et al., 2010), sonificação (CHEN et al., 2011), homogeneizador de alta pressão (PÄÄKO et al., 2007), agitação mecânica (CHERIAN et al., 2008) e maceração a baixas temperaturas (CHAKRABORTY et al., 2005). Independentemente do método de preparação, uma alta cristalinidade da nanopartícula é geralmente alcançada, o que é benéfico para as propriedades mecânicas e para melhoria dos biocompósitos resultantes (KUMAR et al., 2009; XIE et al., 2013).

Comparando os métodos mecânicos e químicos, os primeiros se apresentam como uma alternativa mais limpa, em que nanofibras podem ser obtidas a partir de suspensões aquosas sem o uso de reagentes químicos, apesar de se tratarem de procedimentos de consumo intenso de energia (SPENCE et al., 2011; BUFALINO, 2014).

Para geração de micro/nanofibrilas de celuloses, polpas kraft, branqueadas comercialmente provenientes de madeira de coníferas e/ou folhosas, são os materiais mais utilizados (SAITO et al., 2009; SPENCE et al., 2011; SYVERUD; STENIUS, 2009; SYVERUD et al., 2011; VIANA, 2013).

Na década de 80, desenvolveram-se os primeiros estudos com produção de micro/nanofibrilas de celulose de madeira por processo mecânico cíclico em um homogeneizador de alta pressão (TURBAK et al., 1983; HERRICK et al., 1983). O processo de homogeneização levou a desintegração da polpa de madeira a um material no qual as fibras de celulose foram abertas em suas microfibrilas subestruturais (ANDRESEN et al., 2006). O resultado são géis de celulose microfibriladas consistindo em redes que se entrelaçam e nanofibras de celulose desordenadas (SOUZA, 2010).

Além da madeira, outras fontes vegetais têm sido empregadas para produzir micro/nanofibrilas de celulose, como trigo (ALEMDAR; SAIN, 2008), arroz, tubérculo de batata (ABE; YANO, 2009), banana (ELANTHIKKAL et al., 2010; ZULUAGA et al., 2009) e beterraba (LI et al., 2014).

Outros exemplos de produtos e subprodutos agrícolas que poderiam ser usadas para extrair micro/nanofibrilas de celulose incluem aqueles obtidos a partir do cultivo de milho, sorgo, cevada, cana-de-açúcar, abacaxi e coco. Os subprodutos agrícolas, normalmente são queimados, usados para produtos de baixo valor, como alimentação animal ou utilizados na produção de biocombustíveis. Os resíduos de culturas agrícolas são fontes valiosas de micro/nanofibrilas de celulose, visto sua natureza renovável e sua disponibilidade (REDDY e YANG, 2005).

Devido, principalmente, à menor rigidez da parede celular das fontes não madeiras, o gasto energético necessário para obtenção de micro/nanofibrilas de celulose é bem menor quando comparado ao gasto de energia utilizado para obtenção destas nanoestruturas a partir de fontes

madeireiras. Assim, a cenoura pode ser uma boa alternativa para a produção de micro/nanofibrilas de celulose, podendo ser utilizadas cenouras que se encontram fora do padrão e não serão comercializadas ao natural.

#### **2.4 Emprego de filmes e coberturas comestíveis em vegetais**

A demanda crescente de consumidores por produtos com elevada qualidade e vida útil prolongada e a necessidade de reduzir o uso de embalagens descartáveis que não são biodegradáveis, além da melhoria no sistema das embalagens recicláveis, faz com que ocorra um interesse crescente pelo desenvolvimento de formulações de filmes e coberturas comestíveis aplicáveis à superfície de produtos perecíveis como frutas e hortaliças. Esses revestimentos não substituem as embalagens sintéticas não comestíveis por completo, mas podem atuar como coadjuvantes, reduzindo o uso de embalagens descartáveis (CHITARRA; CHITARRA, 2005).

Os filmes e coberturas comestíveis são vistos, entre outras funções, como uma alternativa para aumentar a vida útil de frutas e hortaliças, protegendo-os dos efeitos da umidade e do oxigênio e retardando, assim, a sua deterioração (HARDENBURG, 1997).

Filmes e coberturas comestíveis são utilizados para controlar a migração de vapor de água, permeabilidade ao O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e migração lipídica em um sistema alimentício (KROCHTA; De MULDER-JOHNSON, 1997). O recobrimento de vegetais com esses materiais reduz a taxa de respiração pela criação de uma atmosfera modificada em torno deles, retardando assim o amadurecimento e senescência (ALI et al., 2011).

Os efeitos de revestimentos comestíveis dependem do tipo de material com o qual eles são elaborados, tais como polissacarídeos, proteínas e lipídeos, e a eficiência desses revestimentos não é a mesma para os diferentes produtos,

devido às diferenças na composição química e de umidade entre os produtos (BIERHALS et al., 2011).

Entre os polissacarídeos utilizados na formulação de revestimentos comestíveis, o amido é o biopolímero natural mais frequentemente utilizado (DURANGO et al., 2005). Além disso, o amido, devido às suas propriedades de gelatinização e retrogradação propicia a criação de películas resistentes e transparentes, que quando aplicadas na superfície dos vegetais incrementam seu apelo visual, por lhes conferir brilho e aumentar sua vida útil, por alterar sua permeabilidade a gases (DAMASCENO et al., 2003).

O recobrimento feito à base de amido, ou outro material pode ser utilizado no vegetal intacto, como no estudo de Henrique & Cereda (1999), que avaliaram a utilização de filmes na conservação pós-colheita de morango cv. IAC Campinas e chegaram à conclusão de que os filmes a 3% de fécula de mandioca prolongaram em até 5 vezes a vida pós-colheita dos frutos e no estudo realizado por Reis et al. (2006), que avaliaram pepino japonês tratados com fécula de mandioca a 4% e observaram que a película reduziu significativamente a perda de massa das amostras mantidas sob refrigeração e proporcionou um aspecto melhor de conservação, tornando o produto mais atraente. Ou ainda podem ser empregados em vegetais minimamente processados, como nos trabalhos de Garcia et al. (2010) e Bierhals et al. (2011), que analisaram o emprego de cobertura de amido em morango e abacaxi minimamente processados, respectivamente. Em ambos os estudos foi observado que o uso de recobrimento de amido melhora a conservação dos frutos minimamente processados.

As embalagens comestíveis são apresentadas de duas formas: como filme ou como cobertura. Frequentemente esses dois termos são usados indistintamente; no entanto, o filme é uma fina película formada separadamente do alimento e depois aplicada sobre o mesmo, enquanto o revestimento ou



cobertura é uma suspensão ou emulsão aplicada diretamente sobre a superfície do alimento, ocorrendo então a formação de fina película sobre o produto (GENNADIOS; WELLER, 1990).

As técnicas mais empregadas para aplicar a suspensão ou emulsão nos alimentos são a pulverização e a imersão. No processo de pulverização, a suspensão ou emulsão deve apresentar baixa viscosidade para ser pulverizada sobre o produto, formando rapidamente uma cobertura transparente sobre o mesmo. A imersão consiste em submergir o produto na emulsão ou suspensão por um determinado tempo (MORETTI, 2007).

Os biopolímeros utilizados em recobrimentos comestíveis normalmente têm propriedades mecânicas, térmicas e de barreira fracas quando comparados com os polímeros à base de petróleo. Vários compósitos, em dimensão nano, têm sido desenvolvidos para serem aplicados em biopolímeros com o objetivo de melhorar suas propriedades e sua aplicabilidade (LUDUEÑA et al., 2007). Azeredo et al. (2009) e Azeredo et al. (2012) estudaram a aplicação de nanofibras de celulose em filmes produzidos a partir de purê de manga e acerola, respectivamente, em ambas as avaliações foi observada melhora na barreira à perda de água com a adição de nanofibras de celulose.

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Diante do exposto fica claro que a busca por materiais biodegradáveis para serem usados como embalagens para alimentos é crescente, e que biopolímeros a base de polissacarídeos, como o amido, é um dos alvos dos estudos e pesquisas nesta área. Para obtenção de filmes e coberturas de amido com melhores propriedades mecânicas, de barreira e térmicas podem ser usadas partículas em dimensões micro e nanométricas como as micro/nanofibrilas de celulose, podendo estas, serem obtidas de produtos e subprodutos agrícolas.

No presente trabalho viu-se a alternativa de utilizar a cenoura para obter mecanicamente uma suspensão contendo micro/nanofibrilas de celulose, podendo ser uma alternativa para melhor aproveitamento pós-colheita da cenoura, visto que as cenouras colhidas, que se apresentem fora do padrão comercial, podem ser as matérias-primas para tal utilização.

As suspensões de celulose micro/nanofibrilada obtidas de cenoura podem ser incorporadas em suspensões de amido para formação de filmes com melhores propriedades mecânicas e de barreira ao vapor d'água, como foi constatado no artigo 1 desta tese.

No artigo 2 observa-se, principalmente, que a vida útil de cenouras minimamente processadas é estendida quando se faz aplicação de cobertura de amido reforçada com as suspensões celulose micro/nanofibrilada obtidas da própria cenoura.

Sendo assim, o presente trabalho pode contribuir muito para gerar tecnologia que pode ser transferida para a indústria, atendendo à necessidade de produção de materiais de baixo custo, reforçados com matérias-primas renováveis como alternativa para diminuir o uso de artigos plásticos derivados do petróleo, além de apresentar uma alternativa para melhor aproveitamento pós-colheita da cenoura, podendo usar as raízes que estiverem fora do padrão comercial para produzir material de reforço (suspensões de celulose micro/nanofibrilada) e aplicá-lo em coberturas de amido que podem ser utilizadas para estender a vida útil de cenouras minimamente processadas, agregando valor a esta hortaliça e oferecendo ao consumidor um produto prático, conveniente, nutritivo e com maior durabilidade.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, K.; YANO, H. Comparison of the characteristics of cellulose microfibril aggregates of wood, rice straw and potato tuber. **Cellulose**, Bucharest, v. 16, n. 6, p. 1017-1023, 2009.

ALEMDAR, A.; SAIN, M. Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues - Wheat straw and soy hulls. **Bioresource Technology**, Essex, v. 99, n. 6, p. 1664-1671, 2008.

ALEXANDER SILBERMAN INSTITUTE OF LIFE SCIENCES. Disponível em: <http://teachline.ls.huji.ac.il/72346/PlantCell/cellwall.html>. Acesso em: 17/06/2015.

ALI, A.; MUHAMMAD, M. T. M.; SIJAM, K.; SIDDIQUI, Y. Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. **Food Chemistry**, v. 124, p. 620–626, 2011.

ALVES, V. D. **Produção e caracterização de biomateriais a partir de fibras naturais e amidos com polibutileno adipato co-tereftalato (PBAT)**. 2007. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

AMARO, A. L.; BEAULIEU, J. C.; GRIMM, C. C.; STEIN, R. E.; ALMEIDA, D. P. F. Effect of oxygen on aroma volatiles and quality of fresh-cut cantaloupe and honeydew melons. **Food Chemistry**, v. 130, p. 49–57, 2012.

ANDRESEN, M.; JOHANSSON, L.-S.; TANEN, B. S.; STENIUS, P. Properties and characterization of hydrophobized microfibrillated cellulose. **Cellulose**, v. 13, p. 665–677, 2006.

ANUÁRIO 2015-2016. ISSN 1981-1837. **Hortifrut Brasil**, dez, 2015 – jan, 2016. Disponível em: <http://cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/152/full.pdf>. Acesso em: 19/01/2016.

ANUÁRIO BRASILEIRO DE HORTALIÇAS 2015. ISSN 1808-3439. Santa Cruz do Sul : Gazeta Santa Cruz, 2015. 68 p. Disponível em: [http://www.grupogaz.com.br/tratadas/eo\\_edicao/6/2015/06/20150616\\_b08a18fce/pdf/4814\\_hortalicas\\_2015.pdf](http://www.grupogaz.com.br/tratadas/eo_edicao/6/2015/06/20150616_b08a18fce/pdf/4814_hortalicas_2015.pdf). Acesso em: 19/01/2016.

AVELAR FILHO, J. A. de. Conservação e fisiologia pós-colheita da cenoura (*Daucus carota* L.) e da batata-baroa (*Arracacia xanthorrhiza* Bancroft.). In: CASALI, V.W.D. (Coord.). **Seminários de Olericultura**. Viçosa: Imprensa Universitária. v.14, p.62-87, 1988.

AVÉROUS, L.; BOQUILLON, N. Biocomposites based on plasticized starch: thermal and mechanical behaviours. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, p. 111–122, 2004.

AZEREDO, H. M. C.; MATTOSO, L. H. C.; WOOD, D.; WILLIAMS, T. G.; AVENA- BUSTILLOS, R. J.; McHUGH, T. H. Nanocomposite Edible Films from Mango Puree Reinforced with Cellulose Nanofibers. **Journal of Food Science**. v. 74, n. 5, p. 31-35, 2009.

AZEREDO, H. M. C.; MIRANDA, K. W. E.; ROSA, M. F.; NASCIMENTO, D. M.; MOURA, M. R. de. Edible films from alginate-acerola puree reinforced with cellulose whiskers. **Food Science and Technology**, v. 46, p. 294-297, 2012.

BALBINO, J. M. S. Colheita, beneficiamento e armazenamento de cenoura (*Daucus carota* L.). In: HEREDIA, M. C. V. & CASALI, V. W. D. (coord.). **Seminários de Olericultura**. Viçosa: Imprensa Universitária, v.7, p.58-81, 1983.

BARRUFALDI, R.; VESSONI PENNA, T. C.; COLOMBO, A. J.; PITOMBO, R. N. Efeito do armazenamento em condições ambientes na qualidade de cenoura (*Daucus carota* L.). **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**. Campinas, v.3, n.2, p.155-160, 1983.

BERGLUND, L. **Cellulose-based nanocomposites**. In: MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. Natural fibers, biopolymers, and their biocomposites. Boca Raton: CRC Press; 2005. p. 824–285.

BIASUTTI, E. A. R. **Blendas poliméricas e nanocompósitos à base de amido: propriedades mecânicas, estruturais e de barreira e compostagem em solo simulado**. 2011, 117 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade de Campinas, Campinas, 2011.

BIERHALS, V. S.; CHIUMARELLI, M.; HUBINGER, M. D. Effect of Cassava Starch Coating on Quality and Shelf Life of Fresh-Cut Pineapple (*Ananas Comosus* L. Merrill cv “Pérola”). **Journal of Food Science**, v. 76, n. 1, p. E62-E72, 2011.

BRANDLEY, E. L.; CASTLE, L.; CHAUDHRY, Q. Applications of nanomaterials in food packaging with a consideration of opportunities for developing countries. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 22, p. 604-610, 2011.

BUFALINO, LINA. **Filmes de nanocelulose a partir de resíduos madeireiros da Amazônia**. 2014, 106 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2014.

CARVALHO, C. de; KIST, B. B.; POLL, H. Anuário brasileiro de hortaliças. ISSN 2178-0897. 2013. 88 p.

CASTRO, N. M. de. **Parede celular**. Disponível em: <http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/paredeCelular/>. Acesso em: 14/12/2015a.

CASTRO, N. M. de. **Raiz**. Disponível em: <http://www.anatomiavegetal.ib.ufu.br/exercicios-html/Raiz.htm>. Acesso em: 20/06/2015b.

CENCI, S. A. **Processamento mínimo de frutas e hortaliças: tecnologia, qualidade e sistemas de embalagem**. Rio de Janeiro: Embrapa Agroindústria de Alimentos, 2011. 144 p.

CHAKRABORTY, A.; SAIN, M.; KORTSCHOT, M. Cellulose microfibrils: a novel method of preparation using high shear refining and cryocrushing. **Holzforschung**, Berlin, v. 59, n. 1, p. 102-107, 2005.

CHERIAN, B. M.; POTHAN, L. A.; NGUYEN-CHUNG, T.; MENNIG, G.; KOTTAISAMY, M.; THOMAS, S. A novel method for the synthesis of cellulose nanofibril whiskers from banana fibers and characterization. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 56, n. 14, p. 5617-5627, 2008.

CHEN, W.; YU, H.; LIU, Y.; HAI, Y.; ZHANG, M.; CHEN, P. Isolation and characterization of cellulose nanofibers from four plant cellulose fibers using a chemical-ultrasonic process. **Cellulose**, Bucharest, v. 18, n. 2, p. 433-442, 2011.

CHITARRA, M. I. F. **Processamento mínimo de frutos e hortaliças**. Viçosa: UFV, 1998. 88 p.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2 ed.rev.ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

CORRADINI, E., LOTTI, C., MEDEIROS, E. S., CARVALHO, A. J. F., CURVELO, A. A. S., MATTOSO, L. H. C. Estudo Comparativo de Amidos Termoplásticos Derivados do Milho com Diferentes Teores de Amilose. **Polímeros**, v. 15, n. 4, p. 268-273, 2005.

CORRÊA, A. C.; TEIXEIRA, E. de M.; PESSAN, L. A.; MOTTOSO, L. H. C. Cellulose nanofibers from curaua fibers. **Cellulose**, Bucharest, v. 17, n. 6, p. 1183-1192, 2010.

DAMASCENO, S.; OLIVEIRA, P. V. S. de; MORO, E.; MACEDO JÚNIOR, E. K.; LOPES, M. C.; VICENTINE, N. M. Efeito da aplicação de película de fécula de mandioca na conservação pós-colheita de tomate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 3, p. 377-380, set

DURANGO, A. M.; SOARES, N. F. F.; ANDRADE, N. J. Microbiological evaluation of an edible antimicrobial coating on minimally processed carrots. **Food Control**, v. 17, p. 336-41, 2005.

EICHHORN, S. J.; DUFRESNE, A.; ARANGUREN, M.; MARCOVICH, N. E.; CAPADONA, J. R.; ROWAN, S. J.; WEDER, C.; THIELEMANS, W.; ROMAN, M.; RENNECKAR, S.; GINDL, W.; VEIGEL, S.; KECKES, J.; YANO, H.; ABE, K.; NOGI, M.; NAKAGAITO, A. N.; MANGALAM, A.; SIMONSEN, J.; BENIGHT, A. S.; BISMARCK, A.; BERGLUND, L. A.; PEIJS, T. Review: current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites. **Journal of Materials Science**, Norwell, v. 45, n. 1, p. 1-33, 2010.

ELANTHIKKAL, S.; GOPALAKRISHNAPANICKER, U.; VARGHESE, S.; GUTHRIE, J. T. Cellulose microfibrils produced from banana plant wastes: Isolation and characterization. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 80, n. 3, p. 852-859, 2010.

ELLIS, R.P.; COCHRANE, M. P.; DALE, M. F. B.; DUFFUS, C. M.; LYNN, A.; MORRISON, I. M.; PRENTICE, R. D. M.; SWANSTON, J. S.; TILLER, S. A. Starch production and industrial use (Review). **Journal of Science Food and Agriculture**, London, v.77, n. 3, p.289-311, 1998.

FARIÑA, L. S. C; RODRIGUES, I. M. M. A.; HENRIQUES, M. H. F.; SARAIVA, R. J. L. Optimização do rendimento do sumo de cenoura durante o

processo produtivo. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 1, n. 1, p. 64-81, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Global food losses and food waste**, 2011. Disponível em: <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>. Internacional Congress Save Food Rome. Acesso em 03/03/2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2016. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/compare/E>. Acesso em 19/01/2016.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, 2016. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>. Acesso em 20/01/2016.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2008. 421 p.

GALLAGHER, M. Vitaminas. In: MAHAN, L. K.; ESCOTT-STUMP, S. **Krause, alimentos, nutrição & dietoterapia**. 11 ed. São Paulo: Roca, 2005. p. 72-114.

GARCIA, L. C.; PEREIRA, L. M.; SARANT'OPoulos, C. I. G. L.; HUBINGER, M. D.. Selection of an edible starch coating for minimally processed strawberry. **Food Bioprocess Technology**, v. 3, p. 834-422010

GARDNER D. J.; OPORTO, G. S.; MILLS R.; SAMIR M. A. S. A. Adhesion and surface issues in cellulose and nanocellulose. **Journal of Adhesion Science and Technology**, v. 22, p. 545-67, 2008.

GENNADIOS, A.; WELLER, C. Edible films and coatings from wheat and corn proteins. **Food Technology**. v. 44, n. 10, p. 63-69, 1990.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten film. *Journal of Food Science*, Chicago, v. 58, n. 1, p. 206-211, 1993.

GUIMARÃES, I.C., REIS, K.C.dos, MENEZES, E.G.T., BORGES, P.S., RODRIGUE, A.C., LEAL, R., HERANDES, T., CARVALHO, E.H.N.de, VILAS BOAS, E.V.de B. Combined effect of Starch/montmorillonite coating and passive MAP in antioxidant activity, total phenolics, organic acids and

volatile of fresh-cut carrots. **International Journal of Food Science and Nutrition**, p. 1-12, fev. 2016.

HARDENBURG, R. E. **Wax and related coatings for horticultural products. A bibliography**. Agriculture Research Service Bulletin 51,15, United States Department of Agriculture, Washington, DC, 1997.

HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P. Utilização de biofilmes na conservação pós-colheita de morango (*Fragaria ananassa* Duch) cv IAC CAMPINAS. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 2, p. 231-233, maio/ago. 1999.

HERRICK, F.W.; HAMILTON, J. K.; SANDBERG, K. R. Microfibrillated cellulose: morphology and accessibility. **Journal Applied Polymer Science**, v. 37, p. 797-813, 1983.

INNOCENTINI-MEI, L.H. & MARIANI, P.D.S.C. **Visão geral sobre polímeros ou plásticos ambientalmente biodegradáveis**, 2005.

Disponível em:

[http://www.feq.unicamp.br/images/stories/documentos/dtp\\_edps.pdf](http://www.feq.unicamp.br/images/stories/documentos/dtp_edps.pdf). Acesso em: 08/12/2014.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo agropecuário 2006. ISSN 0103-6157. 2006, Rio de Janeiro, RJ. 777p.

Disponível em:

[http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro\\_2006.pdf](http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf). Acesso em: 20/06/2015.

IOELOVICH, M. Cellulose as nanostructured polymer: short review. **BioResources**, Kurashiki, v. 3, n. 4, p. 1403-1418, 2008.

KADER, A. A. Respiration and gas exchange of vegetables. In:

WEICHMANN, J. **Postharvest physiology of vegetables**. New York: M. Deker, 1987, p.25-43.

KAUSHIK, A.; SINGH, M.; VERMA, G. Green nanocomposites based on thermoplastic starch and steam exploded cellulose nanofibrils from wheat straw. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, p.337-345, 2010.

KAYS, S. J. **Postharvest physiology of perishable plant products**. New York: AVI Book, 1991. 532p.



KIRBY, A. R.; GUNNING, A. P.; WALDRON, K. W.; MORRIS, V. J.; ADAMS, L. Visualization of Plant Cell Walls by Atomic Force Microscopy. **Biophysical Journal**, v. 70, p. 1138-1143, 1996. Disponível em: <http://www.mobot.org/jwccross/spm/applications.htm>. Acesso em: 17/06/2014.

KOLLMANN, F. R.; COTÉ, W. A. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1968. 592 p.

KROCHTA, J. M.; De MULDER-JOHNSON, C. M. Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities. **Food Technology**, v. 51, p. 61-74, 1997.

KUMAR, A. P.; DEPAN, D.; SINGH TOMER, N.; SINGH, R. P. Nanoscale particles for polymer degradation and stabilization—trends and future perspectives. **Progress in Polymer Science**, v. 34, p. 479–515, 2009.

LANA, M. M. Aspectos da fisiologia de cenoura minimamente processada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 154-158, nov. 2000.

LANA, M. M.; VIEIRA, J. V. Fisiologia e manuseio pós-colheita de cenoura. **Circular Técnica 21 Embrapa**. ISSN 1415-3033, out. 2000, Brasília, DF.

LI, M.; WANG, L.-J.; LI, D.; CHENG, Y.-L.; ADHIKARI, B. Preparation and characterization of cellulose nanofibers from de-pectinated sugar beet pulp. **Carbohydrate Polymers**, v. 102, p. 136–143, 2014.

LI, P.; BARHT, M.M. Impact of edible coatings on nutritional and physiological changes in lightly-processed carrots. **Postharvest Biology and Technology**, v. 14, n. 1, p. 51-60, 1998.

LIBERMAN, S. **Nanocompósitos poliméricos: novos mercados para a indústria do plástico**. São Paulo: Braskem, 2005.

LIMA, K. S. C.; LIMA, A. L. S.; FREITAS, L. C.; DELLA-MODESTA, R. C.; GODOY, R. L. O. Efeito de baixas doses de irradiação nos carotenóides majoritários em cenouras prontas para o consumo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas. V. 24, n. 2, p. 183-193, abr./jun. 2004.

LIU, Z. Edible films and coatings from starches. In: HAN, J. H. (Ed.). **Innovations in food packagings**, Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, p. 318-336, 2005.

- LUDUEÑA, L. N.; ALVAREZ, V. A.; VASQUEZ, A. Processing and microstructure of PCL/clay nanocomposites. **Materials Science and Engineering: A**, v. 460-461, p. 121-129, 2007.
- MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., GARCÍA, M. A., MARTINO, M. M.; ZARITZKY, N. E. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 56, n. 2, p. 129-135, 2004.
- MALI, S., GROSSMANN, M. V. E., GARCÍA, M. A., MARTINO, M. M.; ZARITZKY, N. E. Mechanical and thermal properties of yam starch films. **Food Hydrocolloids**, Oxford, v. 19, n. 1, p. 157-164, 2005.
- MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 137-156, jan./mar. 2010.
- MALMSTROM, E.; CARLMARK, A. Controlled grafting of cellulose fibers—an outlook beyond paper and cardboard. **Polymer Chemistry**, v. 3, p. 1702-1713, 2012.
- MATTOS, L. L.; MARTINS, I. S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, v. 34, p. 50-55, 2003.
- MEDEIROS, E. S., PATERNO, L. G., MATTOSO, L. H. M. Nanotecnologia. In: DURÁN, N.; MATTOSO, L.H.C.; MORAIS, P.C. (Ed.) **Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação**. São Paulo: ArtLiber, 2006, p. 13-30.
- MEDINA, P. V. L. Recomendações sobre produtos colhidos. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte. v.9, n.98, p.49-52, 1983.
- MIHINDUKULASURIYA, S. D. F.; LIM, L.-T. Nanotechnology development in food packaging: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 40, p. 149-167, 2014.
- MÜLLER, J. J. V. Aspectos do armazenamento de cenoura (*Daucus carota* L.). In: MÜLLER, J. J. V.; CASALI, V. W. D. (ed.). **Seminários de Olericultura**. Viçosa: Imprensa Universitária, v.5, p.01-25, 1982.

MORÁN, J. I.; ALVAREZ, V. A.; CYRAS, V. P.; VÁZQUEZ, A. Extraction of cellulose and preparation of nanocelulose from sisal fibers. **Cellulose**, Bucharest, v. 15, n. 1, p. 149-159, 2008.

MORETTI, C. L. (Ed.). **Manual de Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças e SEBRAE, 2007. 531 p.

NAKAGAITO, A. N.; YANO, H. Novel high-strength biocomposites based on microfibrillated cellulose having nano-order-unit web-like network structure. **Applied Physics A: Material Science & Processing**, v. 80, p. 155–159, 2005.

NUNES, E. E.; VILAS BOAS, E. V. de B.; XISTO, A. L. R. P. Qualidade de mandioquinha-salsa minimamente processada: Uso de antioxidantes. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 2, n. 3, p. 43-50, Aug. 2011.

OLIVAS, G. I.; MATTINSON, D. S.; BARBOSA-C´ANOVAS, G. V. Alginate coatings for preservation of minimally processed ‘Gala’ apples. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, p. 89–96, 2007.

OLIVEIRA, M. A. O.; CEREDA, M. P. Pós-colheita de pêssegos (*Prinus persica* L. Bastsch) revestidos com filmes a base de amido como alternativa à cera comercial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 28-33, 2003.

OKSMAN, K.; MATHEW, A. P.; BONDESON, D.; KVIEN, I. Manufacturing process of cellulose whiskers/polylactic acid nanocomposites. **Composites Science and Technology**, Barking, v. 66, n. 15, p. 2776-2784, 2006.

PÄÄKO, M.; ANKERFORS, M.; KOSONEN, A.; NYKÄNEN, A.; AHOLA, S.; ÖSTERBERG, M.; RUOKOLAINEN, J.; LAINE, J.; LARSSON, P. T.; IKKALA, O.; LINDSTRÖM, T. Enzymatic hydrolysis combined with mechanical shearing and high-pressure homogenization for nanoscale cellulose fibrils and strong gels. **Biomacromolecules**, Washington, v. 8, n. 6, p. 1934-1941, 2007.

PINTO, C. N. F.; SEDIYAMA, M. A. N.; CASALI, V. W. D. Manejo póscolheita da cenoura. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.10, n.120, p.65-69, 1984.

PILON, L. **Estabelecimento de vida útil em hortaliças minimamente processadas sob atmosfera modificada e refrigeração**. 2003, 111 p.

Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

PILON, L. **Embalagens utilizadas em produtos minimamente processados.** In: FERREIRA, M.D. (Ed.). *Tecnologias pós-colheita em frutas e hortaliças.* São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2011, p. 257-269.

PROGRAMA BRASILEIRO DE MODERNIZAÇÃO DO MERCADO HORTIGRANJEIRO. Disponível em: <http://www.ceasa.gov.br/>. Acesso em: 20/01/2016.

PUIATTI, M.; FINGER, F. L.; VENZON, M.; de PAULA JÚNIOR, T. J. Cenoura (*Daucus carota* L.). In: de PAULA JÚNIOR, T. J.; VENZON, M. **101 Culturas: Manual de tecnologias agrícolas.** Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 800 p.

RANI, B.; KAWATRA, A. Fiber constituents of some foods. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 45, p. 343-347, 1994.

REDDY, M. M.; VIVEKANANDHAN, S.; MISRA, M.; BHATIA, S. K.; MOHANTY, A. K. Biobased plastics and bionanocomposites: Current status and future opportunities. **Progress in Polymer Science**, v. 38, p. 1653– 1689, 2013.

REDDY, N.; YANG, Y. Biofibres from agricultural by products for industrial applications. **Trends in Biotechnology**, v. 23, p. 22–27, 2005.

RESENDE, J.M.; COELHO, A.F.S.; CASTRO, E.C.; SAGGIN JÚNIOR, O.J.; NASCIMENTO, T.; BENEDETTI, B.C. Modificações sensoriais em cenoura minimamente processada e armazenada sob refrigeração. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p. 147-150, jan-mar 2004.

REIS, K. C. DOS; ELIAS, H. H. DE S.; LIMA, L. C. DE O.; SILVA, J. D.; PEREIRA, J. Pepino japonês (*Cucumis sativus* L.) submetido ao tratamento com fécula de mandioca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 487-493, maio/jun., 2006.

RHIM, J-W; PARK, H-M; HA, C-S. Bio-nanocomposites for food packaging applications. **Progress in Polymer Science**, v. 38, p. 1629– 1652, 2013.

ROLLE, R. S. (Ed.). **Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: a technical guide.** Bangkok: FAO - Food and Agriculture Organization of the

**United Nations**, 2010. 86 p. (RAP publication 2010/16). Aatoria: Jennylynd B. James, Tipvanna Ngarmsak.

SAITO, T.; HIROTA, M.; TAMURA, N.; KIMURA, S.; FUKUSUMI, H.; HEUX, L.; ISOGAI, A. Individualization of nano-sized plant cellulose fibrils by direct surface carboxylation using TEMPO catalyst under neutral conditions. **Biomacromolecules**, v. 10, p. 1992–1996, 2009.

SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Repensando a agricultura paulista. São Paulo, 1997. 43 p.

SIQUEIRA, G.; BRAS, J.; DUFRESNE, A. Cellulose whiskers versus microfibrils: influence of the nature of the nanoparticle and its surface functionalization on the thermal and mechanical properties of nanocomposites. **Biomacromolecules**, Washington, v. 10, n. 2, p. 425-432, 2009.

SIRACUSA, V.; ROCCULI, P.; ROMANI, S.; ROSA, M. D. Biodegradable polymers for food packaging: a review. **Trends in Food Science & Technology**, Cambridge, v. 19, p. 634 - 643, 2008.

SIRÓ, I.; PLACKETT, D. Microfibrillated cellulose and new composite materials: a review. **Cellulose**, Bucharest, v. 17, n. 3, p. 459-464, 2010.

SHARMA, K. D.; KARKI, S.; THAKUR, N. S.; ATTRI, S. Chemical composition, functional properties and processing of carrot - a review. **Journal of Food Science and Technology**, v. 49, n. 1, p. 22-32, 2012.

SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina Ciências Agrárias**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 79 – 88, 2007.

SOUZA, S. F. de. **Obtenção de nanofibras de curauá e aplicação como reforço em compósitos baseados em PVA**. 2010, 86 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 24-30, 2000.

SPAGNOL, W. A.; PARK, K. J.; SIGRIST, J. M. M. Taxa de respiração de cenouras minimamente processadas e armazenadas em diferentes temperaturas.

**Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas. v. 26, n. 3, p. 550-554, jul./set. 2006

SPENCE, K. L.; VENDITTI, R. A.; ROJAS, O. J.; HABIBI, Y.; PAWLAK, J. J. A comparative study of energy consumption and physical properties of microfibrillated cellulose produced by different processing methods. **Cellulose**, Bucharest, v. 18, n. 4, p. 1097-1111, 2011.

SVAGAN, A. J.; HEDENQVIST, M. S.; BERGLUND, L. Reduced water vapour sorption in cellulose nanocomposites with starch matrix. **Composites Science and Technology**, v. 69, p. 500-506, 2009.

SVAGAN, A. J.; SAMIR, M. A. S. A.; BERGLUND, L. A. Biomimetic polysaccharide nanocomposites of high cellulose content and high toughness. **Biomacromolecules**, Washington, v. 8, n. 8, p. 2556–2563, 2007.

SYVERUD, K. CHINGA-CARRASCO, G.; TOLEDO, J.; TOLEDO, P. G. A comparative study of Eucalyptus and *Pinus radiata* pulp fibres as raw materials for production of cellulose nanofibrils. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 84, n. 3, p. 1033-1038, 2011.

SYVERUD, K.; STENIUS, P. Strength and barrier properties of MFC films. **Cellulose**, Bucharest, v. 16, n. 1, p. 75-86, 2009.

TIDJANI, A. WILKIE, C. A. Photo-oxidation of polymeric-inorganic nanocomposites: chemical, thermal stability and fire retardancy investigations. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 74, p. 33-37, 2001.

TONOLI, G. H. D.; TEIXEIRA, E. M.; CORRÊA, A. C.; MARCONCINI, J. M.; CAIXETA, L. A.; SILVA, M. A. P. DA; MATTOSO, L. H. C. Cellulose micro/nanofibres from *Eucalyptus* kraft pulp: preparation and properties. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 89, n. 1, p. 8- 88, 2012.

TURBAK, A. F.; SNYDER, F. W.; SANDBERG, K. R. Microfibrillated cellulose, a new cellulose product: properties, uses, and commercial potential. **Journal Applied Polymer Science**, v. 37, p. 815–827, 1983.

TZONG-MING, W. U.; CHENG-YANG, W. U. Biodegradable poly (lactic acid)/chitosan-modified montmorillonite nanocomposites: preparation and characterization. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 91, p. 2198-2204, 2006.

VIANA, L. C. **Desenvolvimento de filmes celulósicos nanoestruturados a partir de fibras de *Pinus* sp.** 2013. 124 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

VILELA, N. J.; BORGES, I. O. Restrospectiva e situação atual da cenoura no Brasil. **Circular técnica 59 Embrapa Hortaliças**. INSS 1415-3033, jun. 2008, Brasília, DF.

VILELA, N. J.; MORELLI, J. B.; MAKISHIMA, N. Impactos socioeconômicos da pesquisa de cenoura no Brasil, 1977-1996. **Embrapa Hortaliças**. INSS 1415-2312, 1997, Brasília, DF.

XIE, F.; POLLET, E.; HALLEY, P. J.; AVEROUS, L. Starch-based nano-biocomposites. **Progress in Polymer Science**, v. 38, p. 1590– 1628, 2013.

WAN, Y.; LUO, H.; HE, F.; LIANG, H.; HUANG, Y.; LI, X. Mechanical, moisture absorption, and biodegradation behaviors of bacterial cellulose fiber-reinforced starch biocomposites. **Composites Science and Technology**, v. 69, p. 1212–1217, 2009.

WANG, B.; SAIN, M. Isolation of nanofibers from soybean source and their reinforcing capability on synthetic polymers. **Composites Science and Technology**, v.6, p. 2521–2527, 2007

WATADA, A. E.; ABE, K.; YAMAUCHI, N. Physiological activities of partially processed fruits and vegetables. **Food Technology**. Champaign, v. 44, n. 5, p. 116-122, 1990.

WILLS, R.H.E.; LEE, T.H.; GRAHAM, D.; MACGLASSON, W.B.; HALL, E.G. **Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables**. Westport: AVI, 1981. 163p.

WORLD CARROT MUSEUM. Disponível em:  
<http://www.carrotmuseum.co.uk/carrotroot.html>. Acesso em: 20/06/2015.

WURZBURG, O. B. **Cross – linking starches**. In: Wurzburg, O. B. Modified starches: properties and uses. Boca Raton: CRC Press, 1986. p. 41-53.

ZIMMERMANN, T.; BORDEANU, N.; STRUB, E. Properties of nanofibrillated cellulose from different raw materials and its reinforcement potential. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 79, n. 4, p. 1086-1093, 2010.

ZULUAGA, R.; PUTAUX, J. L.; CRUZ, J.; VÉLEZ, J.; MONDRAGON, I.; GAÑÁN, P. Cellulose microfibrils from banana rachis: Effect of alkaline treatments on structural and morphological features. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 76, n. 1, p. 51-59, 2009.



**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS****ARTIGO 1****Preparation of suspensions of cellulose micro/nanofibrillated obtained of carrots by mechanical defibrillation and their application in edible starch films**

Isabela Costa Guimarães<sup>ac</sup>; Kelen Cristina dos Reis<sup>b</sup>; Evandro Galvão Tavares Menezes<sup>ac</sup>; Ariel Costa Rodrigues<sup>a</sup>; Thaís Ferreira da Silva<sup>a</sup>; Isadora Rebouças Nolasco de Oliveira<sup>c</sup>; Eduardo Valério de Barros Vilas Boas<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Food Science Department, University of Lavras, PO BOX 3037, Lavras, Minas Gerais, Brazil; <sup>b</sup> PPGBiomat, Forest Science Department, University of Lavras, PO BOX 3037, Lavras, Minas Gerais, Brazil; <sup>c</sup> University of Viçosa, Campus Rio Paranaíba; PO BOX 22, Rio Paranaíba, Minas Gerais, Brazil.

(Preparado de acordo com as normas da revista “Industrial Crop and Products” – submetido ao periódico)

## Abstract

Suspensions of micro/nanofibrillated cellulose (MNFC) from carrot was obtained by mechanical defibrillation and it was applied as reinforcement in starch edible films. It was investigated the effect of different amounts of carrots and different numbers of passages through the defibrillator on the resulting suspensions of carrot MNFC films. It was also investigated the physical, mechanical, morphological and structural properties of films from corn starch reinforced with suspensions of carrot MNFC as a function of the concentration of carrot and the number of passages through the mechanical defibrillator. The carrot concentration and number of passages through the mechanical defibrillator affected the final particle size, film color and thickness, water vapor permeability (WVP), and tensile strength (TS) of the suspensions of carrot MNFC films. Starch films reinforced with suspensions of carrot MNFC had a lower WVP and higher TS than starch films. Scanning electron microscopy (SEM) show that the largest number of passages through the mechanical defibrillator results in less aggregation of MNFC, making it possible to obtain a good interaction between the suspensions of carrot MNFC and starch matrix.

Keywords: *Daucus carota*; cellulose; corn starch; edible coating; cellulose micro/nanofibril

### 1. Introduction

Due to the growing need to reduce the amount of wastes on the planet, the search for packaging to protect foods efficiently and with minimal effect on the environment is becoming increasingly important. Researches on biopolymers that function as an edible coating in food packaging are alternatives to non-biodegradable food packaging.

The use of edible coatings combined with some conventional food packaging can help in the preservation of packaged food. The use of edible coatings on fresh vegetables has many benefits. Edible coatings moderate oxygen permeability by modifying the internal atmosphere of the vegetables; leading to the delay of senescence (Rojas-gra et al., 2007); reducing of permeability to water vapor; avoiding of desiccation and contribute to the maintenance of fruit firmness (Ayranci and Tunc, 2004; Del-Valle et al., 2005;

Han et al., 2004); providing of mechanical protection, reduce in the effects of injuries; and increase sensory appeal (Azeredo et al., 2012).

Starch can be used to produce edible coatings because of its chemical, physical, and functional characteristics. Specifically, amylose can form gels and films. In solution, the amylose molecules tend to orient in parallel due to their linearity, resulting in hydrogen bonds between hydroxyl groups of adjacent polymers. As a result, the affinity of the polymer for water is reduced, favoring the formation of opaque pastes and resistant films (Wurzburg, 1986).

The biopolymers used in edible coatings, such as starch, generally have poor mechanical, thermal and barrier properties when compared with petroleum-based polymers. However, these properties can be improved; various structures on the micro or nanoscale have been developed to improve the properties and applicability of biopolymers (Ludueña et al., 2007).

According to Habibi, Lucia and Rojas (2010), about 36 individual cellulose molecules are brought together by biomass into larger units known as elementary fibrils or microfibrils, which are packed into larger units called microfibrillated cellulose. Micro/nanofibrillated cellulose (MNFC), also called cellulose microfibril, microfibrillar cellulose, or more currently, nanofibrillated cellulose (NFC), has been reviewed quite recently, particularly in terms of biocomposite applications. The diameter of elementary fibrils is about 5 nm whereas the micro/nanofibrillated cellulose or nanofibrillated cellulose has diameters ranging from 20 to 50 nm (Eichhorn et al., 2010; Kalia et al., 2011; Siqueira, Bras, & Dufresne, 2010; Siró & Plackett, 2010).

One of the possible ways to generate these nanostructures is by a microfibrilador mill called grinder, which mechanism consists of breaking hydrogen bonds by means of shear forces and consequently causes the individualization of microfibril bundles of the multilayer structure of the cell wall (Kumar et al., 2009).

For MNFC generation, kraft pulp, from commercially bleached softwood and / or hardwood, are more commonly used materials (Saito et al., 2009; Spence et al., 2011; Syverud and Stenius, 2009; Syverud et al., 2011; Viana, 2013). Nakagaito and Yano (2005) developed MNFC, consisting of fibrillated pulp mechanically forming nanofibers and microfibers, forming an extensive network of connections, showing a lot of potential for use as reinforcement in biocomposites materials.

Other vegetables sources other than wood have been used to produce MNFC, such as wheat (Alemdar and Sain, 2008), rice, potato tuber (Abe and Yano, 2009), banana (Elanthikkal et al., 2010; Zuluaga et al., 2009), sugar beet (Li et al., 2014), bamboo (Guimarães Jr. et al., 2015), coconut palm petiole (Zhao et al., 2015) and carrots (Siqueira et al., 2016). Other examples of agricultural products and byproducts that might be used to extract MNFC include those obtained from corn, sorghum, barley, sugarcane, pineapple and coconut. Agricultural by-products, they are usually burned, used for low-value products such as animal feed or used to produce biofuels. The renewable nature of agricultural crop residues and their availability make them become valuable sources of natural nanofibers (Reddy & Yang, 2005). The cellulose microfibrils from non- timber sources are more distant primary cell wall of the secondary wall of the timber, so in the production of MNFC spends less power than when using wood (Dinand et al., 1996). Thus, the carrots could be a good source for formation of MNFC.

Siqueira et al. (2016) produced carrot nanofibers and applies to produce nanopaper and observed improvements in mechanical properties when compared with the paper without carrot nanofibers. These authors used an alkaline treatment before proceeding with the mechanical defibrillation now in this work is proposed directly employ mechanical defibrillation to obtain a suspension

containing micro/nanofibrillated cellulose of carrot and apply it to the reinforcement of starch films, which can serve to coat vegetables.

Suspensions of MNFC obtained from imperfect carrots is an efficient way to utilize vegetables that do not meet consumer expectations but are free of microbial contamination. Carrot (dry) has been reported to contain cellulose (81%), hemicelluloses (9%), lignin (2.5%) and pectin (7.5%) (Rani and Kawatra, 1994; Sharma et al., 2012). Then carrots can be used to generate a small (micrometers or even nanometers thin) reinforcing material to already existing edible starch films, thereby improving their mechanical properties and thermal barrier. Thus, the objectives of this work are to mechanically extract carrot MNFC, study the resulting films and their possible use as reinforcement in starch films evaluating the effect of MNFC on starch film properties.

## **2. Materials and methods**

### **2.1 Obtained and preparation of films of carrot MNFC suspensions**

It was used methodology proposed by Guimarães Jr. et al. (2015) and Bufalino et al. (2015), with same modifications.

Carrots, obtained from the local market of Lavras, MG, Brazil, were washed and sanitized with 200 ppm of sodium hypochlorite. Two suspensions were prepared in 2 liter batches consisting of distilled water and either 20% (~402g) or 40% (~802g) carrots (ratio of carrot (dry weigh) relative of the amount distilled water in the preparation). Grated carrots were mixed with water and homogenized with the aid of a polytron (Tecnal, Turratec 102 Model) for approximately 12 hours (30 minute intervals between passages for a total of approximately 24 passages, each lasting 2 minutes).

The carrots homogenate were processed with a mechanical defibrillator type Grinder, Super Masscolloider (MKCA6-3, MASUKO SANGYOU Co., Ltd.) (Figs. 1a and 1b) with a working speed of 1700 rpm and an electric current of

5A. Carrot MNFC suspensions were obtained after either 20 or 40 passages through the defibrillator (Fig. 1c). The suspensions were collected and stored at 4°C. It was made four carrot MNFC suspensions: C1: 20% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 20 passages through the mechanical defibrillator; C2: 20% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount of distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator; C3: 40% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount of distilled water in the preparation) with 20 passages through the mechanical defibrillator, and C4: 40% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator.

Films of the carrot suspensions after mechanical defibrillation were prepared using the *casting* process (Fig. 1d) in which four 10 ml aliquots of the suspension were poured onto polystyrene plates and exposed to an air conditioning chamber at  $20 \pm 3^\circ \text{C}$  and  $65 \pm 3\%$  relative humidity. Once the films were completely dry (approximately 36 hours), they were removed from the plates and stored in low-density polyethylene bags at ambient conditions until they were analyzed. The films of each sample were prepared in triplicate.

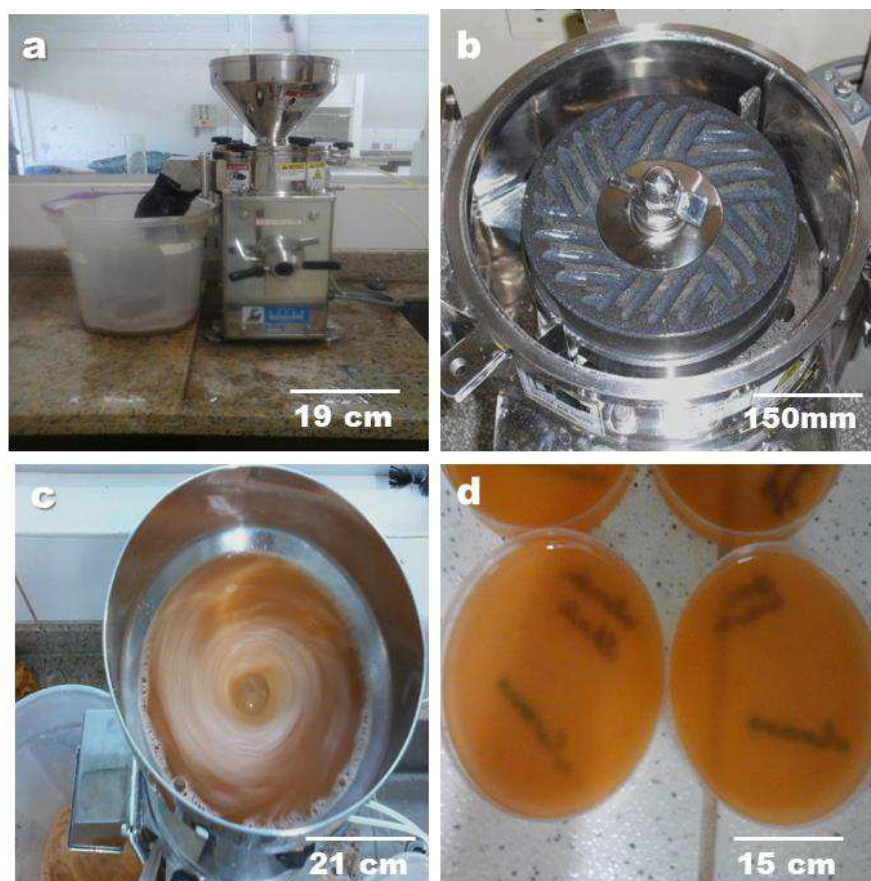


Fig. 1. Stages of carrot MNFC suspensions films: (a) Super Masscolloider Masuko Sangyo MKCA6-3 defibrillator; (b) grinding upper disc; (c) visual appearance of the carrot MNFC suspension; (d) carrot MNFC suspension poured on polystyrene plates for drying and film formation.

## 2.2 Preparation of starch films reinforced with carrot MNFC suspensions

A solution of starch was prepared with 3% of corn starch (w/w) (3001 Amidex, from Corn Products), 20% of glycerol (w/w) (plasticizer). The plasticizer was used in relation to the dry basis of polymers. These components were mixed in distilled water under constant agitation and gradually heated up to

the point of gelatinization ( $\sim 80^{\circ}\text{C}$ ) for 20 min, as suggested by Reis, Elias, Lima, Silva and Pereira (2006).

After the solutions were shed in acrylic plexiglass and cooled to room temperature and kept under drying in an oven at  $30^{\circ}\text{C}$  for 48 h. Around 40g of the solution was poured into Plexiglas acrylic plates (15cm in diameter) for obtaining of the control sample (called C) by film casting (Fig. 2e).

Two different formulations were prepared combining starch films with carrot MNFC suspensions: F1: film of starch with 5% (relative to the amount of starch) carrot MNFC suspensions obtained of carrot suspension 20% ( $\sim 402\text{g}$ ) carrots (ratio of carrot (dry weigh) relative of the amount of distilled water in the preparation of the MNFC suspension) with 40 passages through the mechanical defibrillator; F2: film of starch with 5% (relative to the amount of starch) carrot MNFC suspensions obtained of carrot suspension 40% ( $\sim 802\text{g}$ ) carrots (ratio of carrot (dry weigh) relative of the amount of distilled water in the preparation of the MNFC suspension) with 40 passages through the mechanical defibrillator. It was utilized the suspensions with 40 passages through the mechanical defibrillator because these suspensions shows better characteristics (dates show below).

The suspensions of carrot MNFC were added to the starch solution under mechanical stirring at room temperature for 15min, and homogenized at 500 rpm in a magnetic stirring at room temperature for 20 min. Finally, the solutions were poured into plexiglass acrylic plates and placed in a controlled room at  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$  and  $65 \pm 3\%$  relative humidity. Once the films were completely dry (approximately 36 h) (Fig. 2), they were removed from the plates and stored in low-density polyethylene bags at ambient conditions until they were analyzed. The films of each sample were prepared in triplicate.



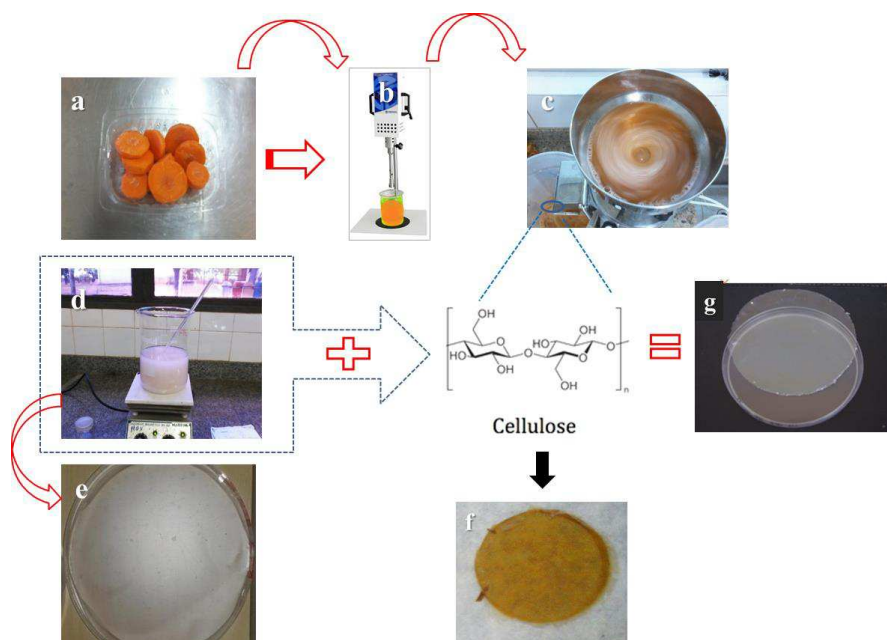


Fig. 2. Steps to the production of the corn starch films with carrot MNFC suspensions: (a) carrots that do not meet consumer expectations after minimal processing; (b) polytron for water and carrot homogenization; (c) carrot MNFC suspension; (d) gelatinization process of the starch with water and plasticizer under magnetic stirring and constant temperature; (e) dry films containing gelatinized starch; (f) dry films of carrot MNFC suspension; (g) dry starch film with reinforcement of carrot MNFC suspension.

## 2.2 Analysis

### 2.3.1 Size and zeta potential of particles

The particle size distribution and zeta potential (charge of particles) were measured using a Granulometer Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments, Worcestershire, UK). The analysis was performed using 4 suspensions (C1, C2, C3 and C4) of carrots obtained by passages of homogenates through the

mechanical defibrillator. The zeta potential is used to quantify this and to control and predict the stability of colloidal suspensions.

The samples were analyzed after sedimentation of suspended particles. The samples were stabilized for 60 seconds at 25°C before analysis. For each sample, each measurement was performed in duplicate. To measure, the sample was subjected to 50 V and the refractive index of the medium was set to 1.33; each replicate had an average of 12 readings. The zeta potential was determined by the microelectrophoresis technique based on laser Doppler anemometry (LDA). The charge of the particles was determined by electrophoretic mobility by a laser speedometer, based on the Doppler effect. By Henry's equation (Equation 1), It was can convert the electrophoretic mobility to the zeta potential:

$$U_e = (2 * \mathcal{E} * \zeta * f(ka)) / 3\eta \quad (1)$$

Where  $U_e$  is the electrophoretic mobility,  $\mathcal{E}$  is the dielectric constant of the medium,  $\zeta$  is the zeta potential,  $\eta$  is the viscosity of the dispersing medium, and  $f(ka)$  is the Henry function.

### 2.3.2 Color and thickness of carrot MNFC suspensions films and starch films reinforced with carrot MNFC suspensions

The color of the films was determined using the colorimeter device model Minolta CR 400 (Japan), with D65 (daylight) and using the CIE Lab settings where L (corresponding to light), ranges from 0 (black) to 100 (white),  $a^*$  varies from -60 (green) to +60 (red), and  $b^*$  varies from -60 (blue) to +60 (yellow). The variables  $a^*$  and  $b^*$  were used to calculate the value of Hue angle ( $H^\circ$ ) and chroma ( $C^*$ ) as described by McGuire (1992).

The thickness measurements were carried out with an external digital micrometer (Instrutemp, São Paulo) and the results were expressed in millimeters (mm).

### 2.3.3 Water vapor permeability (WVP) of carrot MNFC suspensions films and starch films reinforced with carrot MNFC suspensions

It was evaluated the water vapor permeability (WVP) according to the methodology proposed by the American Society Testing and Materials Standard - E96-00 - ASTM (ASTM, 2000), with some modifications.

Water vapor that passages through the film results in an increase in mass, which is expressed in grams of water per square meter of body-specimens per unit time, and is related to the permeability of the film. This measure is the permeability rate of water vapor (PRWV) and is expressed in g water / (m<sup>2</sup>.day), according to the equation 2:

$$PRWV = G / (t * A) \quad (2)$$

Where  $G/t$  represents the angular coefficient of the straight line obtained by linear regression of the weight gain plot (g) and  $A$  is the permeation area of each body-specimens in m<sup>2</sup>.

The permeability (WVP) can be determined from the rate of permeability to water vapor, according to equation 3:

$$WVP = (PRWV * e) / (ps * (Hr/100) - ps * (Hri/100)) \quad (3)$$

(g.mm.KPa<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>)

Where  $e$  is the thickness of the body of the test piece (mm),  $ps$  is the steam saturation pressure of water at the test temperature of 18.5°C (kPa),  $Hri$  is the relative humidity inside the airtight cell containing silica gel (0%), and  $Hr$  is the relative humidity inside the desiccator containing distilled water (100%).

The  $ps$  was calculated according to the equation of Totems (Equation 4):

$$ps = 0.6108 \left[ \exp \right]^{((17.27 * T) / (T + 237.3))} \quad (4)$$

Where  $T$  is the temperature of the desiccant packaging that contains the cell with the biofilm and distilled water. In our experiment,  $T$  is 18.5°C.

From the weights, it was can establish a graph of weight gain (g) versus conditioning time. The portion of the curve that fits a straight line by linear regression ( $y = bx + a$ ) is associated with a steady state water vapor transfer through the material where  $G/t$  is the slope of this line.

For the analysis of the biofilms, a 2 cm<sup>2</sup> section of film was attached under a permeation area of  $0.0874 \times 10^{-3}$  m<sup>2</sup> from an amber bottle (58 mm long, 26 mm diameter). The cover of the bottle (18 mm height, 20 mm diameter) was carefully punched with the same diameter of the glass permeation area, so there is no influence of the environment on the inside of the cell. The weighing cell was held at a constant weight.

#### **2.3.4 Mechanical properties of carrot MNFC suspensions films and starch films reinforced with carrot MNFC suspensions**

The mechanical properties were investigated using a texturometer Analyzer TA-XT2 (Stable Microsystems, Surrey, UK) with a 30 kg load cell. Five sample strips (5 mm x 70 mm) of each formulation were cut and secured between two drive clutches. The maximum force was recorded during the extension of 50 mm min<sup>-1</sup> and with the initial distance between the jaws set to 60 mm.

The tensile strength (MPa) was determined by dividing the maximum force by the cross sectional area of the film (width x thickness).

#### **2.3.5 Morphological characterization of carrot MNFC suspensions films and starch films reinforced with carrot MNFC suspensions by scanning electron microscopy (SEM)**

For the micrographs, approximately 2 mm pieces of film were analyzed. The samples were placed in "stubs" to carbon tape, gold plated for 180 seconds (metallization), fixed on the microscope, and photomicrographed. A scanning electron microscope (LEO Evo-40 model) was used and SEM data were submitted for descriptive analysis.

#### **2.4 Data analysis**

The PVA analysis, color, thickness, and tensile strength of films were measured in triplicate. For each trial, the sample was analyzed at five different points. Data were analyzed by analysis of variance (ANOVA) and means were compared by the Tukey test ( $P < 0.05$ ) using SISVAR software (version 5.3) (Ferreira, 1999).

### **3. Results and discussion**

#### **3.1 Zeta potential and particle size of carrot MNFC suspensions**

The values of the zeta potential (Table 1) are below 25 mV, indicating that the suspensions had become unstable and prone to flocculation and sedimentation (Mirhosseini et al., 2008). Flocculation and sedimentation can lead to losses in the properties of films formed with these suspensions, such as low tensile strength, rupture elongation at low capacity, and high permeability to water vapor. The low value of the zeta potential may be due to the carrot MNFC extraction method used since the mechanical method generates longer fragments, which can lead to aggregation. Furthermore, unlike extraction by acid hydrolysis, the mechanical method of extraction does not remove pectins and hemicelluloses on the surface of MNFC (Siaueira et al., 2009), which can function as binder particles and improve the load transfer mechanism for reinforcing composites (Dufresne, Alain, Cavaille and Vignon, 1996; Tibolla et al., 2014). Tonoli et al. (2012) observed similar results (zeta potential values

lower than 25 mV) in cellulose micro/nanofibres extracted by mechanical method of eucalyptus, while cellulose micro/nanofibres extracted by the acid hydrolysis method had zeta potential values above 25 mV.

Table 1. Mean values of zeta potential (mV) and particle size (nm) measured in intensity of films formed with different carrot MNFC suspensions.

<b>Treatment</b>	<b>Zeta Potential (mV)</b>	<b>Intensity (nm)</b>
C1	-13.1	731
C2	-14.5	454
C3	-13.9	1680
C4	-15.7	1031

C1: 20% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 20 passages through the mechanical defibrillator, C2: 20% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator, C3: 40% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 20 passages through the mechanical defibrillator, and C4: 40% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator.

When in contact with a liquid, most particulate material acquires an electric charge on its surface. The zeta potential is used to quantify this and to control and predict the stability of colloidal suspensions. The zeta potential indicates the surface potential of the particles, changes in the interface with the dispersing medium due to the dissociation of functional groups on the surface of the particle, or adsorption of ion species on the surface thereof, which are present in the dispersion (Rezende et al., 2003).

A negative zeta potential indicates the prevalence of negatively charged (anionic) compounds in the suspension, thus indicating that the carrot MNFC can attract positively charged (cationic) compounds. Unmodified starch contains amylaceous substance (amylose and amylopectin), oil, protein, moisture, fiber, and minerals. They have anionic and cationic charges and can form edible films using starch as the matrix and MNFC as reinforcement, since the starch molecules and MNFC are attracted due to electrical charge and Van der Waals interactions in aqueous solution.

Particle size and intensity analysis was conducted and given in nm. Table 1 shows that the sample C2, which contained less carrot and spent more time in the mechanical defibrillator, showed a smaller particle size, indicating that dispersion for this treatment was successful. The results for C2 and C4 suggest that with a greater number of passages of the suspension through the mechanical defibrillator, a smaller particle size is achieved. According to Hebeish and Guthrie (1981), larger particles (smaller surface area per unit mass) with a lower average surface charge favor particle-particle interactions, leading to particle agglomeration (decantation). The larger sizes of particles were observed in treatments C3 and C4, which contained a greater amount of carrot and likely a greater amount of aggregated particles.

### **3.2 Physical properties of films obtained with carrot MNFC suspensions**

Color parameters and thickness from carrot MNFC suspensions films were evaluated. Both color parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ , and  $H^\circ$ ) and the thickness of the films were analyzed and were significantly affected by the formulation of dispersed carrot suspensions.

According to the observed values for the parameters  $a^*$ ,  $b^*$ , and  $L^*$  (Table 2), the color of carrot MNFC suspensions films was between yellow and red and lighter shades ( $L^* > 50$ ). It was observed that higher  $L^*$  values were

obtained for C1 films, which contained less carrot and spent less time in the mechanical defibrillator. Higher  $L^*$  values indicate that these films were clearer, probably due to the smaller amount of carrot and the dispersion based on the smaller number of passages by mechanical defibrillator (Table 2). For parameter  $a^*$ , It was observed that higher values were obtained for the C4 films containing a larger amount of carrots and more passages in the mechanical defibrillator. The C4 suspension had a greater concentration of carrot and had better dispersion of carrot MNFC, resulting in a more orange suspension and consequently a more orange film. This is further validated by the evaluation of  $H^\circ$ : in the C4 film, the  $H^\circ$  value was smaller, indicating a greater tendency to orange (Table 2).



Table 2. Mean values of color parameters (L\*, a\*, b\*, C\*, and H°), thickness (mm), permeability to water vapor (WVP) (g.mm.KPa<sup>-1</sup>.day<sup>-1</sup>.m<sup>-2</sup>), and tensile strength (TS) (MPa) of films formed with different carrot MNFC suspensions.

Treatment	L*	a*	b*	H°	C*	Thickness	WVP x10 <sup>-5</sup>	TS (MPa)
						(mm)	(g.mm.KPa <sup>-1</sup> .day <sup>-1</sup> .m <sup>-2</sup> )	
C1	69.51 C	14.90 A	35.03 B	66.96 C	38.07 A	0.070 A	3.60 D	0.75 A
C2	66.55 B	15.29 A	33.76 AB	65.64 C	37.07 A	0.073 AB	3.51 C	0.91 B
C3	66.74 B	18.94 B	35.50 B	61.93 B	40.24 B	0.077 C	3.42 B	3.06 C
C4	56.60 A	25.48 C	33.13 A	52.44 A	41.80 B	0.076 BC	3.28 A	3.81 D

Means followed by the same letters in the same column do not differ, a 5% probability by Tukey test. C1: 20% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 20 passages through the mechanical defibrillator, C2: 20% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator, C3: 40% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 20 passages through the mechanical defibrillator, and C4: 40% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator.

Films arising from the suspensions with higher amounts of carrot (C3 and C4) showed higher values for color purity ( $C^*$ ) (Table 2), but this difference is small and likely not observable with the naked eye.

Films originating from suspensions containing more carrot (C3 and C4) were thicker, probably due to the greater amount of scattered carrot. The present study is in accordance with a previous study by Alves, Reis, Menezes, Pereira, & Pereira (2015), who found that increasing the concentration of cellulose nanocrystals obtained from eucalyptus wood pulp in corn starch films increases the thickness of the film. A thicker film influences the mechanical properties, especially the strength required for puncture and permeability to water vapor of hydrophilic films. The greater the thickness of the films, the more resistant they are to puncture and the lower their permeability to water vapor (Victória et al., 2010).

### **3.3 Barrier property of carrot MNFC suspensions films: WVP**

The carrot suspension formulation had a significant effect on the WVP. With a greater amount of carrot and higher dispersion (more passages through the mechanical defibrillator), the WVP was lower (Table 2). It was observed that the WVP decreases with increasing film thickness, which is in agreement with previous research (Victória et al., 2010). Because structures with micrometric or nanometric particles have perfectly dispersed particles, the particles create a type of labyrinth, preventing water vapor diffusion through the matrix and decreasing WVP (Garcia, Pereira, Sarantópoulos, & Hubinger, 2010; Ma, Jian, Chang, & Yu, 2008). The reduction in permeability is strongly associated with a decrease in the diffusion coefficient imposed by the presence of MNFC (Kaushik et al., 2010), leading to improvements in the vapor-barrier of the MNFC films.

### **3.4 Mechanical properties of carrot MNFC suspensions films**

The tensile strength (TS) was calculated by dividing the maximum force of each film by its sectional area (Table 2). TS is often used to describe

the mechanical properties of films and is the maximum tensile force that a film can sustain (ASTM, 2008).

Fig. 3 shows the mechanical behavior of carrot MNFC films in relation to the force applied during the analysis. The samples that passages through the mechanical defibrillator more than once (C2 and C4) took longer to break, indicating a higher elongation and deformation (Fig. 3). This is likely due to the smaller particle sizes achieved by more passages, which provides better dispersion and higher uniformity of carrot MNFC. The more uniform and diperse the microfibrils and nanofibrils in the film, the greater the elongation and deformation before rupture (Iwamoto et al., 2011).

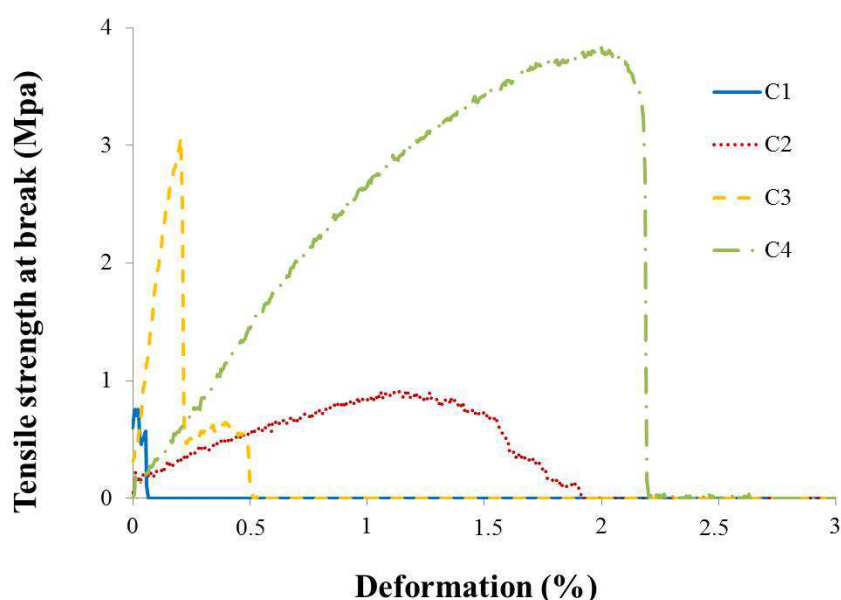


Fig. 3. Tensile strength and elongation at break values of different films obtained from carrot MFC suspensions. C1: 20% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 20 passages through the mechanical defibrillator, C2: 20% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator, C3: 40% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with

20 passages through the mechanical defibrillator, and C4: 40% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator.

The treatments containing higher amounts of carrot (C3 and C4) have higher TS. Treatments with the greatest number of passages through the mechanical defibrillator (C2 and C4) have the higher TS when compared to treatments with the same amounts of carrot (C1 and C3, respectively) (Table 2). Our results suggest that a suspension with more particles as well as a more passages through the mechanical defibrillator leads to films that are more resistant to traction, which can be confirmed by images generated by SEM, discussed below (Fig. 4). The C4 film formed smaller agglomerates than the C3 film. Similarly, C2 formed smaller agglomerates than the C1 film, leading to increased tensile strength. According to Reddy, Zhang, Zhang, & Rajulu (2014) an increase in the tensile strength of MNFC films may be due to covalent binding between soluble cellulose and insoluble MNFC, which increases stiffness and leads to a decrease in deformability and breakage.

It was expected that the mechanical properties of cellulose MNFC films to be closely related to other factors, such as the degree of fibrillation diameter and the crystallinity index (Bufalino, 2014). The mechanical properties, particularly tensile strength, are directly related to the hydrogen bonds formed between the structures and not necessarily with the resistance of the MNFC (Abe and Yano, 2009). Thus, smaller diameters result in increased surface area and more possibilities for hydrogen bonding (Bufalino, 2014), which may explain the higher TS value of C4.

### **3.5 Morphological properties of carrot MNFC suspensions films**

SEM of films produced from suspensions containing carrot MNFC are shown in Fig. 4. In general, since films are formed with carrot MNFC, only a few MNFC had a rounded form in films with 20 passages through the

mechanical defibrillator (red arrow in Fig. 4C1 and Fig. 4C3), probably due to the formation of agglomerates, larger particles, or other MNFC formed matrices. The MNFC extracted from other materials such as sisal, eucalyptus, and bamboo have an elongated form (He et al., 2013; Oliveira et al., 2009; Tonoli et al., 2012).

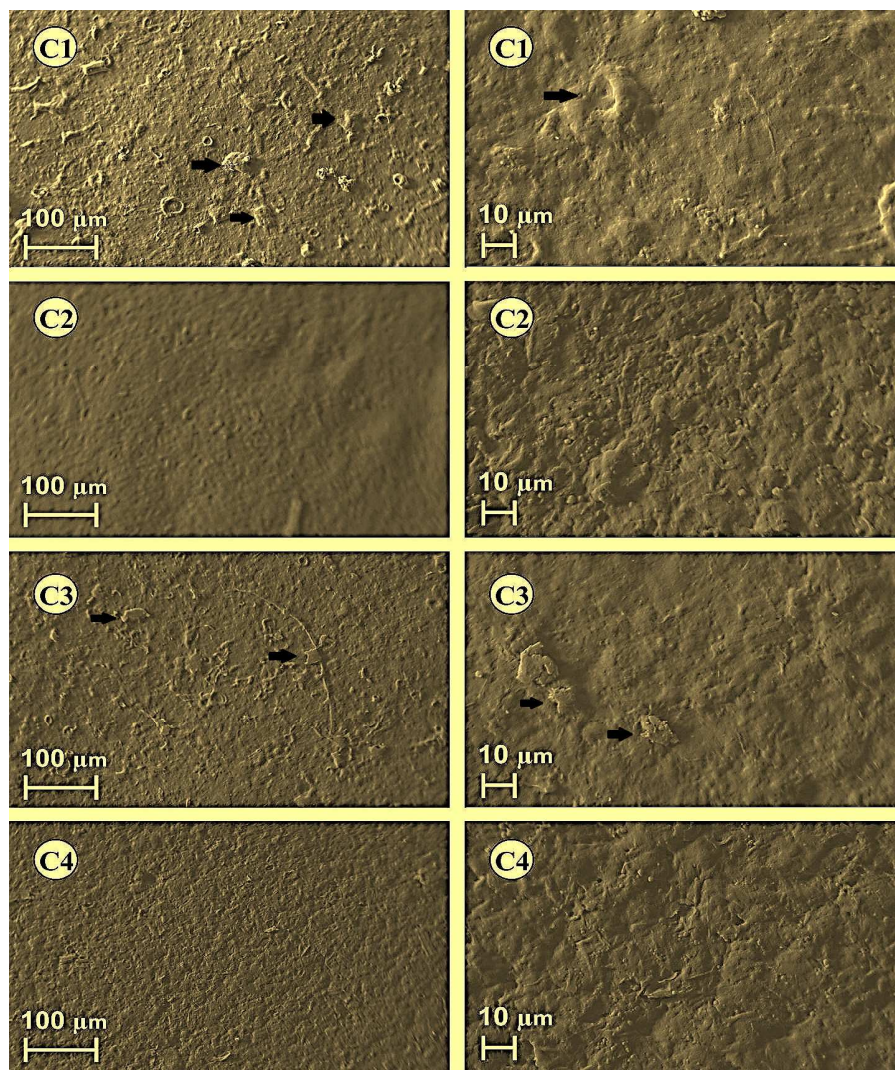


Fig. 4. Representative scanning electron microscopy (SEM) images of films formed by different suspensions of carrot MFC. C1: 20% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 20 passages through the mechanical defibrillator, C2: 20% carrot suspension

(ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator, C3: 40% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 20 passages through the mechanical defibrillator, and C4: 40% carrot suspension (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator.

The results observed in zeta potential in this work support the assertion that occurred formation of agglomerates carrot MNFC, since the values (in module) for all suspensions were lower than 25 mV, and according with Mirhosseini et al. (2008), values lower than 25 mV, in module, module indicate a tendency to settling and agglomeration.

For all films, It was observed a roughened surface, indicating the presence of carrot MNFC. The C1 film had increased aggregation and larger particles than other treatments, probably due to the smaller amount of carrot and fewer passages through the mechanical defibrillator. The C2 film, which passed through the mechanical defibrillator more, has smaller and more scattered particles than C1. The same applies to films with more carrot (C3 and C4): the suspension that passed through the mechanical defibrillator less (C3) had larger and less dispersed particles (more aggregate particles). The micrograph results correlate with WVP. Films from the C4 suspensions, which had the most carrot and were highly dispersed, had the lowest WVP, indicating that the smaller the particle aggregation the less permeable it is to water vapor (Garcia, Ribba, Dufresne, Aranguren, & Goyanes, 2009; Ma et al., 2008).

### **3.6 Physical properties of edible starch films reinforced with carrot MNFC suspensions**

It was observed significant differences between the starch films in this study for the variables  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ , and  $H^\circ$ , while the  $L^*$  value was not

affected, maintaining close to the value 88 for all samples for all of the samples (Table 3).

The values of variables  $a^*$  and  $b^*$  suggest that the color of the films tended to neutral color, whereas the  $L^*$  value suggests a light film. Our results are similar to those observed by other researchers (Alves, 2009; Henrique, Cereda, & Dupuy, 2007). Edible films reinforced with carrot MNFC showed higher values of  $a^*$  and  $b^*$  and a lower  $H^\circ$ , but this difference cannot be observed by the naked eye.

Chroma ( $C^*$ ) is a measure of color saturation: pale, dull, or gray colors have a low saturation value (Zhong et al., 2011). The edible starch films had a lower saturation value than those with 40% carrot MNFC (F2), indicating that the reinforced films were more opaque. The change in  $C^*$  was small and might not be detectable by the naked eye.

The edible films reinforced with carrot MNFC were not different in the thickness, which ranged from 0.054 to 0.056 mm (Table 3). According to Mali et al. (2010) and Sobral (2000), controlling the thickness of the films produced by casting is difficult because the thickness largely influences the mechanical properties, especially the strength in drilling and the permeability to water vapor of the hydrophilic film. In general, the greater the thickness of the film, the more resistant it is to drilling and the lower the permeability to water vapor. The amount of carrot MNFC employed in this study (5% in relation to the amount of starch) was not sufficient to increase the film thickness achieved by Alves et al. (2015), who observed an increase in the thickness of starch films when they added higher concentrations of extracted cellulose nanocrystals of eucalyptus wood pulp.

Table 3. The mean values of the color parameters ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ , and  $H^\circ$ ), the thickness (mm) and permeability to water vapor (WVP) ( $\text{g}\cdot\text{mm}\cdot\text{KPa}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ), and tensile strength (TS) (MPa) of starch films reinforced with carrot MNFC.

Treatment	$L^*$	$a^*$	$b^*$	$H^\circ$	$C^*$	Thickness (mm)	WVP $\times 10^{-5}$ ( $\text{g}\cdot\text{mm}\cdot\text{KPa}^{-1}\cdot\text{day}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ )	TS (MPa)
C	87.79 A	0.27 A	-1.83 A	278.58 A	1.85 B	0.056 A	2.35 C	1.65A
F1	88.14 A	0.36 B	-1.66 B	282.32 B	1.7 AB	0.054 A	2.11 B	8.56B
F2	88.00 A	0.36 B	-1.56 B	283,06 B	1.60 A	0.056 A	1.38 A	8.49B

Means followed by the same letters in the same column do not differ, a 5% probability by Tukey test. C: control (starch films without carrot MNFC suspensions); F1: film of starch with 5% (relative to the amount of starch) carrot MNFC suspensions obtained of carrot suspension 20% (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator; F2: film of starch with 5% (relative to the amount of starch) carrot MNFC suspensions obtained of carrot suspension 40% (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator.



### **3.7 The barrier property of the starch films reinforced with carrot MNFC suspensions**

The starch films reinforced with carrot MNFC (F2) had a lower WVP value (Table 3). The use of nanoparticles in films increases the permeability throughout the polymer matrix, reducing the diffusivity and resulting in a better barrier to water vapor. Additionally, the material has good dispersion in the polymer matrix and high interaction (Dias, 2013; Lagaron, Catalá, & Gavara, 2004). The reduction in permeability is strongly associated with a decrease in the diffusion coefficient imposed by the presence of MNFC (Kaushik et al., 2010).

Alves et al. (2015) and Bilbao-Sainz, Bras, Williams, Sénechal, & Orts (2011) also observed a decrease in WVP between starch films and HPMC (hydroxypropyl methylcellulose) when cellulose nanofibers from eucalyptus wood pulp were added. Azeredo et al. (2009) studied films prepared from mango puree reinforced with cellulose nanofibers and observed that the WVP of reinforced films decreased compared to films without reinforcement, although films without reinforcement had sufficient polysaccharides to produce a good barrier to steam.

### **3.8 Mechanical properties of starch films reinforced with carrot MNFC suspensions**

The starch films reinforced with carrot MNFC (F1 and F2) had a greater resistance and a higher tensile strength (Table 3), likely due the formation of a fibril network within the polymer matrix.

The mechanical properties of the starch films are generally considered restrictive, since these materials are resistant to breakage and abrasion. Starch films are used to protect and reinforce the structure of the food while also being flexible and adapting to deformations (Sobral, 2000). These properties strongly

depend on the coating formulation (macro, micro, and nanoparticles, solvent, plasticizer, pH, etc.) and the preparation process, and can be measured by drilling tests, traction, and relaxation. The tensile properties are most often reported and indicate the strength of the material and its ability to stretch and resist breaking when subjected to tensile forces (Victória et al., 2010).

Other authors have reported increased mechanical properties, particularly the tensile strength, of films of polymeric materials reinforced with cellulose nanofibers. Alves et al. (2015) showed this to be true for gelatin films and starch films reinforced with cellulose nanofibers from eucalyptus while Azeredo et al. (2012) demonstrated this for acerola puree films with alginate reinforced with cotton cellulose nanofibers. Azeredo et al. (2009) used mango puree films reinforced with cellulose nanofibers obtained commercially and Chen, Liu, Chang, Cao, & Anderson (2009) used extracted starch film reinforced with cellulose nanofibers from pea shells to show differences in tensile strength.

The mechanical behavior of the starch films is shown in Fig. 5. It was observed that the F1 and F2 film showed a higher tensile strength and the F1 film showed a greater deformation than the other films (C e F2). The use of MNFC with a lower percentage of carrot (20%) in F1 might explain this because the carrot MNFC contribute to a greater elongation and deformation. However, according to Chen et al. (2009), a high level of added nanoparticles may adversely affect the film properties because of the possible aggregation of particles, which may explain the lower deformation observed for F2 since it was prepared using 40% carrot MNFC.

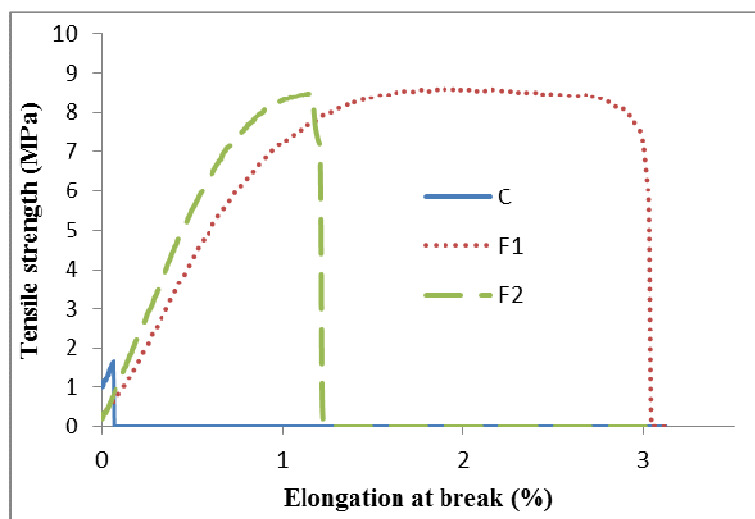


Fig. 5. Tensile strength and elongation at break values of different films obtained from carrot MFC suspensions: C: control (starch films without carrot MNFC suspension); F1: film of starch with 5% (relative to the amount of starch) carrot MNFC suspension obtained of carrot suspension 20% (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator; F2: film of starch with 5% (relative to the amount of starch) carrot MNFC suspension obtained of carrot suspension 40% (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator.

### 3.9 Morphological characterization of starch films reinforced with carrot MNFC suspensions

Fig. 6 shows SEM images of starch films. The control starch film is smooth and has a homogeneous surface (Fig. 6C). The F1 film has some porosity and surface agglomerates (Fig. 6F1) and film F2 has a few agglomerates (Fig. 6F2), indicating a possible satisfactory carrot MNFC dispersion of the polymeric starch matrix for both films. According to Henrique et al. (2008), the presence of

pores can influence the permeability to water vapor, which may explain the lower WVP of film F2 than film F1, although both had a lower WVP than the control (Table 3).

In both F1 and F2, there was a good interaction between the carrot MNFC and the starch matrix. These interactions are due to hydrogen bonding between the hydroxyl groups of carrot MNFC and the hydrophilic sites of starch (Avérous, Fringant, & Moro, 2001; Azeredo, 2009; Chen et al., 2009; Wu, Wang, Li, Li, & Wang, 2009).

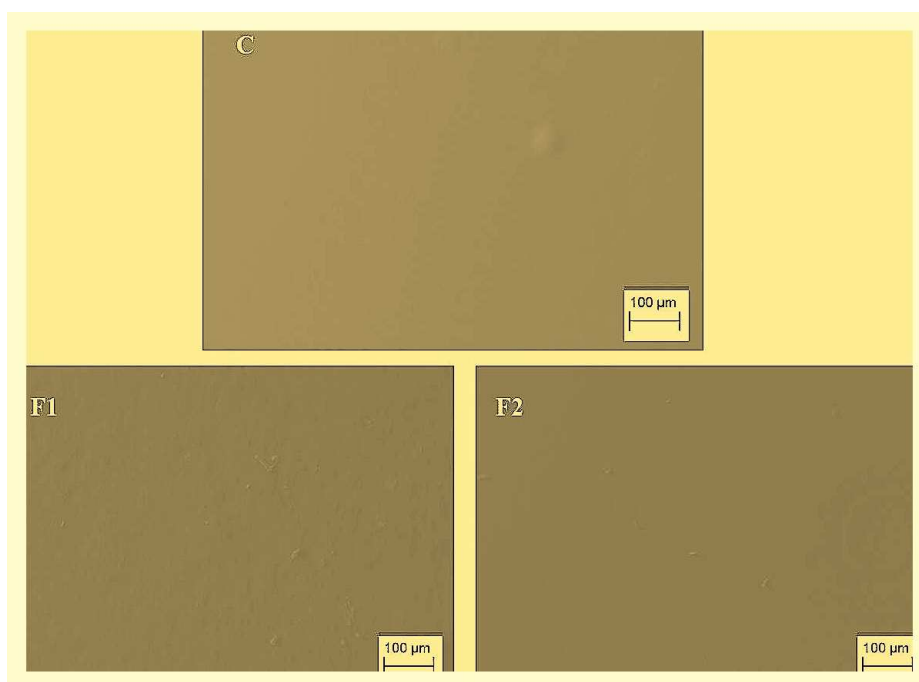


Fig. 6. Representative scanning electron microscopy (SEM) images of starch films. C: control (starch films without carrot MNFC suspension); F1: film of starch with 5% (relative to the amount of starch) carrot MNFC suspension obtained of carrot suspension 20% (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical

defibrillator; F2: film of starch with 5% (relative to the amount of starch) carrot MNFC suspension obtained of carrot suspension 40% (ratio of carrot relative of the amount distilled water in the preparation) with 40 passages through the mechanical defibrillator.

#### **4. Conclusion**

Microfibrillated cellulose can be obtained from carrots by mechanical extraction as an alternative utilization of the vegetable, may be applied as reinforcement in starch edible films for use in food, or in other words, to produce edible coating for foodstuffs from food. Low amounts of carrot and a large number of passages through the mechanical defibrillator result in suspensions of carrot MNFC smaller particles. Carrot suspensions with high amounts of carrots and a large number of passages through the mechanical defibrillator result in lower permeability and a greater tensile strength of the carrot MNFC suspensions films. Starch films reinforced with carrot MNFC suspensions tend towards an orange color and are an effective way to decrease water vapor permeability (WVP) and increase the tensile strength (TS). Reinforcing starch films with higher concentrations of carrot MNFC suspensions further reduces WVP and increase TS. SEM images show that more passages through the mechanical defibrillator results in less aggregation of carrot MNFC, making it possible to obtain a good interaction between the carrot MNFC suspensions and starch matrix.

#### **Acknowledgments**

The authors thank the Brazilian Federal Agency for Support and Evaluation of Graduate Education (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES), the National Counsel of Technological and Scientific Development (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

– CNPq) and the Minas Gerais Research Foundation (Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais – FAPEMIG) for their financial support, and Editage for English language correction.

## References

- Abe, K., Yano, H., 2009. Comparison of the characteristics of cellulose microfibril aggregates of wood, rice straw and potato tuber. *Cellulose* 1017–1023. doi:10.1007/s10570-009-9334-9
- Alemdar, A., Sain, M., 2008. Isolation and characterization of nanofibers from agricultural residues - Wheat straw and soy hulls. *Bioresour. Technol.* 99, 1664–1671. doi:10.1016/j.biortech.2007.04.029
- Alves, J.S., 2009. Elaboração e caracterização de filmes finos de amido de milho e parafina. Universidade Federal de Lavras.
- Alves, J.S., Reis, K.C., Menezes, E.G.T., Pereira, F. V, Pereira, J., 2015. Effect of cellulose nanocrystals and gelatin in corn starch plasticized films. *Carbohydr. Polym.* 115, 215–222.
- ASTM, 2008. Designation D398-08. Standard test method for tensile properties of plastics.
- ASTM, 2000. Designation E96-00: Standard test method for water vapor transmission of materials.
- Avérous, L., Fringant, C., Moro, L., 2001. Plasticized starch-cellulose interactions in polysaccharide composites. *Polymer (Guildf)*. 42, 6565–6572. doi:10.1016/S0032-3861(01)00125-2
- Ayranci, E., Tunc, S., 2004. The effect of edible coatings on water and vitamin C loss of apricots (*Armeniaca vulgaris* Lam.) and green peppers (*Capsicum annuum* L.). *Food Chem.* 87, 339–342. doi:10.1016/j.foodchem.2003.12.003
- Azeredo, H.M.C. De, 2009. Nanocomposites for food packaging applications. *Food Res. Int.* 42, 1240–1253. doi:10.1016/j.foodres.2009.03.019
- Azeredo, H.M.C., Mattoso, L.H.C., Wood, D., Williams, T.G., Avena-Bustillos, R.J., McHugh, T.H., 2009. Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. *J. Food Sci.* 74, 31–35. doi:10.1111/j.1750-3841.2009.01186.x
- Azeredo, H.M.C., Miranda, K.W.E., Ribeiro, H.L., Rosa, M.F., Nascimento, D.M., 2012. Nanoreinforced alginate-acerola puree coatings on acerola fruits. *J. Food Eng.* 113, 505–510. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.08.006
- Bilbao-Sainz, C., Bras, J., Williams, T., Sénechal, T., Orts, W., 2011. HPMC reinforced with different cellulose nano-particles. *Carbohydr. Polym.* 86, 1549–1557. doi:10.1016/j.carbpol.2011.06.060
- Bufalino, L., 2014. Filmes de nanocelulose a partir de resíduos madeireiros da

- Amazônia. Universidade Federal de Lavras.
- Bufalino, L., Neto, A.R.D., Tonoli, G.H.D., Fonseca, A. de S., Costa, T.G., Marconcini, J.M., Colodette, J.L., Labory, C.R.G., Mendes, L.M., 2015. How the chemical nature of Brazilian hardwoods affects nanofibrillation of cellulose fibers and film optical quality. *Cellulose* 22, 3657–3672. doi:10.1007/s10570-015-0771-3
- Celina M. Henrique, Marney P. Cereda, N.D., 2007. Análise de cor, transparência e infravermelho dos filmes de fécula modificada de mandioca. *Agron. Trop.* 57, 25–30.
- Chen, Y., Liu, C., Chang, P.R., Cao, X., Anderson, D.P., 2009. Bionanocomposites based on pea starch and cellulose nanowhiskers hydrolyzed from pea hull fibre: Effect of hydrolysis time. *Carbohydr. Polym.* 76, 607–615. doi:10.1016/j.carbpol.2008.11.030
- Cristina, K., Helena, H., Elias, D.S., Carlos, L., Lima, D.O., 2006. ( *Cucumis sativus* L. ) SUBMETIDO 487–493.
- Del-Valle, V., Hernández-Muñoz, P., Guarda, a., Galotto, M.J., 2005. Development of a cactus-mucilage edible coating (*Opuntia ficus indica*) and its application to extend strawberry (*Fragaria ananassa*) shelf-life. *Food Chem.* 91, 751–756. doi:10.1016/j.foodchem.2004.07.002
- Dias, M. V., 2013. Filmes a base de quitosana incorporados com  $\alpha$ -tocoferol e montmorilonita para a aplicação em embalagens funcional e antioxidante. Universidade Federal de Lavras.
- Dinand, E., Chanzy, H., Vignon, M.R., 1996. Parenchymal cell cellulose from sugar beet pulp: preparation and properties. *Cellulose* 3, 183–188. doi:10.1007/BF02228800
- Do Amaral Sobral, P.J., 2000. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. *Pesqui. Agropecu. Bras.* 35, 1251–1259. doi:10.1590/S0100-204X2000000600022
- Dufresne, Alain, Cavaille, J., Vignon, M.R., 1996. Mechanical Behavior of Sheets Prepared from Sugar Beet Cellulose Microfibrils. *Sugar Beet Cellul. Microfibrils* 1185–1194. doi:10.1002/(sici)1097-4628(19970509)64:6<1185::aid-app19>3.0.co;2-v
- Eichhorn, S. J., Dufresne, A., Aranguren, M., Marcovich, N. E., Capadona, J. R., Rowa, S. J., Weder, C., Thielemans, W., Roman, M., Renneckar, S., Gindl, W., Veigel, S., Keckes, J., Yano, H., Abe, K., Nogi, M., Nakagaito, A. N., Mangalam, A., Simonsen, T., 2010. Review: Current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites. *J. Mater. Sci.* 45, 1–33.
- Elanthikkal, S., Gopalakrishnanpanicker, U., Varghese, S., Guthrie, J.T., 2010. Cellulose microfibrils produced from banana plant wastes : Isolation and characterization. *Carbohydr. Polym.* 80, 852–859. doi:10.1016/j.carbpol.2009.12.043

- Ferreira, D.F., 1999. Sistemas para Análise de Variância para Dados (SISVAR).  
Garcia, L.C., Pereira, L.M., de Luca Sarantópoulos, C.I.G., Hubinger, M.D.,  
2010. Selection of an Edible Starch Coating for Minimally Processed  
Strawberry. *Food Bioprocess Technol.* 3, 834–842. doi:10.1007/s11947-  
009-0313-9
- Garcia, N.L., Ribba, L., Dufresne, A., Aranguren, M.I., Goyanes, S., 2009.  
Physico-Mechanical properties of biodegradable starch nanocomposites.  
*Macromol. Mater. Eng.* 294, 169–177. doi:10.1002/mame.200800271
- Guimarães, M., Botaro, V.R., Novack, K.M., Teixeira, F.G., Tonoli, G.H.D.,  
2015. Starch/PVA-based nanocomposites reinforced with bamboo  
nanofibrils. *Ind. Crops Prod.* 70, 72–83. doi:10.1016/j.indcrop.2015.03.014
- Habibi, Y., Lucia, L. A., Rojas, O.J., 2010. Cellulose Nanocrystals: Chemistry,  
Self-Assembly, and Applications. *Chem. Rev.* 110, 3479–3500.
- Han, C., Zhao, Y., Leonard, S.W., Traber, M.G., 2004. Edible coatings to  
improve storability and enhance nutritional value of fresh and frozen  
strawberries (*Fragaria x ananassa*) and raspberries (*Rubus ideaus*).  
*Postharvest Biol. Technol.* 33, 67–78.  
doi:10.1016/j.postharvbio.2004.01.008
- He, W., Jiang, S., Zhang, Q., Pan, M., 2013. Isolation and Characterization  
of Cellulose Nanofibers from *Bambusa rigida* 8, 5678–5689.
- Hebeish, A., Guthrie, J.T., 1981. *The Chemistry and Technology of Cellulosic  
Copolymers.* Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.  
doi:10.1007/978-3-642-67707-6
- Henrique, C.M., Cereda, M.P., Sarmiento, S.B.S., 2008. Características físicas de  
filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de  
mandioca. *Ciência e Tecnol. Aliment.* 28, 231–240. doi:10.1590/S0101-  
20612008000100033
- Iwamoto, S., Isogai, A., Iwata, T., 2011. Structure and Mechanical Properties of  
Wet-Spun Fibers Made from Natural Cellulose Nanofibers 831–836.
- Kalia, S., Dufresne, A., Cherian, B., Kaith, B. S., Avérous, L., Njuguna, J. and  
Nassiopoulos, E., 2011. Cellulose-Based Bio- and Nanocomposites: A  
Review. *Int. J. Polym. Sci.* doi:10.1155/2011/837875
- Kaushik, A., Singh, M., Verma, G., 2010. Green nanocomposites based on  
thermoplastic starch and steam exploded cellulose nanofibrils from wheat  
straw. *Carbohydr. Polym.* 82, 337–345. doi:10.1016/j.carbpol.2010.04.063
- Kumar, A.P., Depan, D., Singh Tomer, N., Singh, R.P., 2009. Nanoscale  
particles for polymer degradation and stabilization-Trends and future  
perspectives. *Prog. Polym. Sci.* 34, 479–515.  
doi:10.1016/j.progpolymsci.2009.01.002
- Lagaron, J. M., Catalá, R., Gavara, R., 2004. Structural characteristics defining  
high-barrier polymeric materials. *Mater. Sci. Technol.* 20, 1–7.
- Li, M., Wang, L., Li, D., Cheng, Y., Adhikari, B., 2014. Preparation and



- characterization of cellulose nanofibers from de-pectinated sugar beet pulp. *Carbohydr. Polym.* 102, 136–143. doi:10.1016/j.carbpol.2013.11.021
- Ludueña, L.N., Alvarez, V. a., Vazquez, A., 2007. Processing and microstructure of PCL/clay nanocomposites. *Mater. Sci. Eng. A* 460-461, 121–129. doi:10.1016/j.msea.2007.01.104
- Ma, X., Jian, R., Chang, P.R., Yu, J., 2008. Fabrication and Characterization of Citric Acid-Modified Starch Nanoparticles / Plasticized-Starch Composites Fabrication and Characterization of Citric Acid-Modified Starch Nanoparticles / Plasticized-Starch Composites 3314–3320. doi:10.1021/bm800987c
- Mcguire, R.G., 1992. Reporting of Objective Color Measurements. *Feature* 27, 1254–1255.
- Mirhosseini, H., Ping, C., Hamid, N.S.A., Yusof, S., 2008. Effect of Arabic gum , xanthan gum and orange oil contents on  $\zeta$  -potential , conductivity , stability , size index and pH of orange beverage emulsion 315, 47–56. doi:10.1016/j.colsurfa.2007.07.007
- Nakagaito, A.N., Yano, H., 2005. Novel high-strength biocomposites based on microfibrillated cellulose having nano-order-unit web-like network structure. *Appl. Phys. A Mater. Sci. Process.* 80, 155–159.
- Oliveira, F.D.O., Teixeira, E.D.M., Teodoro, K.B.R., Marconcini, J.M., Mattoso, L.H.C., 2009. Obtenção de nanofibras de celulose a partir de sisal para atura como reforço em matrizes biodegradáveis. *Congr. Bras. Polímeros*.
- Rani, B., Kawatra, A., 1994. Fiber constituents of some foods. *Plant Foods Hum. Nutr.* 45, 343–347.
- Reddy, K.O., Zhang, J., Zhang, J., Rajulu, A.V., 2014. Preparation and properties of self-reinforced cellulose composite films from Agave microfibrils using an ionic liquid. *Carbohydr. Polym.* 114, 537–545. doi:10.1016/j.carbpol.2014.08.054
- Reddy, N., Yang, Y., 2005. Biofibres from agricultural by products for industrial applications. *Trends Biotechnol.* 23, 22–27.
- Rezende, S., Stanisquaski, S., Lucca, L. De, Raffin, A., 2003. *Revisão* 26, 726–737.
- Rojas-gra, A., Raybaudi-massilia, R.M., Soliva-fortuny, R.C., Avena-bustillos, R.J., Mchugh, T.H., Mart, O., 2007. Apple puree-alginate edible coating as carrier of antimicrobial agents to prolong shelf-life of fresh-cut apples 45, 254–264. doi:10.1016/j.postharvbio.2007.01.017
- Saito, T., Hirota, M., Tamura, N., Kimura, S., Fukuzumi, H., Heux, L., Isogai, A., 2009. Individualization of nano-sized plant cellulose fibrils by direct surface carboxylation using TEMPO catalyst under neutral conditions. *Biomacromolecules* 10, 1992–1996. doi:10.1021/bm900414t
- Sharma, K.D., Karki, S., Thakur, N.S., Attri, S., 2012. Chemical composition,

- functional properties and processing of carrot-A review. *J. Food Sci. Technol.* 49, 22–32.
- Siqueira, G., Bras, J., Dufresne, A., 2009. Cellulose whiskers versus microfibrils: Influence of the nature of the nanoparticle and its surface functionalization on the thermal and mechanical properties of nanocomposites. *Biomacromolecules* 10, 425–432. doi:10.1021/bm801193d
- Siqueira, G., Oksman, K., Tadokoro, S.K., Mathew, A.P., 2016. Re-dispersible carrot nano fibers with high mechanical properties and reinforcing capacity for use in composite materials. *Compos. Sci. Technol.* 123, 49–56. doi:10.1016/j.compscitech.2015.12.001
- Siqueira, G., Bras, J., & Dufresne, A., 2010. Cellulosic bionanocomposites: A review of preparation, properties and applications. *Polymer (Guildf)*. 2, 728–765.
- Siró, I., Plackett, D., 2010. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: A review. *Cellulose* 17, 459–494. doi:10.1007/s10570-010-9405-y
- Spence, K.L., Venditti, R. a., Rojas, O.J., Habibi, Y., Pawlak, J.J., 2011. A comparative study of energy consumption and physical properties of microfibrillated cellulose produced by different processing methods. *Cellulose* 18, 1097–1111. doi:10.1007/s10570-011-9533-z
- Syverud, K., Chinga-Carrasco, G., Toledo, J., Toledo, P.G., 2011. A comparative study of Eucalyptus and Pinus radiata pulp fibres as raw materials for production of cellulose nanofibrils. *Carbohydr. Polym.* 84, 1033–1038. doi:10.1016/j.carbpol.2010.12.066
- Syverud, K., Stenius, P., 2009. Strength and barrier properties of MFC films. *Cellulose* 16, 75–85. doi:10.1007/s10570-008-9244-2
- Tibolla, H., Maria, F., Cecilia, F., 2014. LWT - Food Science and Technology Cellulose nano fibers produced from banana peel by chemical and enzymatic treatment. *LWT - Food Sci. Technol.* 59, 1311–1318. doi:10.1016/j.lwt.2014.04.011
- Tonoli, G.H.D., Teixeira, E.M., Corrêa, A.C., Marconcini, J.M., Caixeta, L.A., Pereira-da-silva, M.A., Mattoso, L.H.C., 2012. Cellulose micro / nanofibres from Eucalyptus kraft pulp : Preparation and properties. *Carbohydr. Polym.* 89, 80–88. doi:10.1016/j.carbpol.2012.02.052
- Viana, L.C., 2013. Desenvolvimento de filmes celulósicos nanoestruturados a partir de fibras de Pinus sp. Universidade Federal do Paraná.
- Victória, M., Grossmann, E., Yamashita, F., 2010. Filmes de amido : produção , propriedades e potencial de utilização Starch films : production , properties and potential of utilization 31, 137–156.
- Wu, R.L., Wang, X.L., Li, F., Li, H.Z., Wang, Y.Z., 2009. Green composite films prepared from cellulose, starch and lignin in room-temperature ionic

- liquid. *Bioresour. Technol.* 100, 2569–2574.  
doi:10.1016/j.biortech.2008.11.044
- Wurzburg, O.B., 1986. Cross – linking starches, in: WURZBURG, O.B. (Ed.), *Modified Starches: Properties and Uses*. CRC Press, Boca Raton, pp. 41–53.
- Zhao, Y., Xu, C., Xing, C., Shi, X., Matuana, L.M., Zhou, H., Ma, X., 2015. Fabrication and characteristics of cellulose nanofibril films from coconut palm petiole prepared by different mechanical processing. *Ind. Crops Prod.* 65, 96–101. doi:10.1016/j.indcrop.2014.11.057
- Zhong, Y., Song, X., Li, Y., 2011. Antimicrobial, physical and mechanical properties of kudzu starch-chitosan composite films as a function of acid solvent types. *Carbohydr. Polym.* 84, 335–342.  
doi:10.1016/j.carbpol.2010.11.041
- Zuluaga, R., Putaux, J.L., Cruz, J., Vélez, J., Mondragon, I., Gañán, P., 2009. Cellulose microfibrils from banana rachis: Effect of alkaline treatments on structural and morphological features. *Carbohydr. Polym.* 76, 51–59.  
doi:10.1016/j.carbpol.2008.09.024

## ARTIGO 2

### **Cobertura comestível a base de amido e suspensão de celulose micro/nanofibrilada obtida de cenoura prolonga a vida útil de cenoura minimamente processada**

Isabela Costa Guimarães<sup>1</sup>, Evandro Galvão Tavares Menezes<sup>2</sup>, Lucas Ferreira Rodrigues<sup>3</sup>, Ariel Costa Rodrigues<sup>4</sup>, Aline Gomes Dias Pinto Monteiro<sup>5</sup>, Kelen Cristina dos Reis<sup>6</sup>, Eduardo Valério de Barros Vilas Boas<sup>7</sup>

(Preparado de acordo com as normas da revista “Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos” – em avaliação no periódico)

---

<sup>1</sup> Engenheira de Alimentos, Mestre em Ciências dos Alimentos – Universidade Federal de Lavras, Professora da Universidade Federal de Viçosa *Campus* de Rio Paranaíba, e-mail: icostag@yahoo.com.br.

<sup>2</sup> Engenheiro de Alimentos, Mestre em Ciências dos Alimentos – Universidade Federal de Lavras, Professor da Universidade Federal de Viçosa *Campus* de Rio Paranaíba, e-mail: evandrogtmenezes@gmail.com.

<sup>3</sup> Biólogo – Centro Universitário de Lavras, email: llucasrodrigues@gmail.com.

<sup>4</sup> Engenheiro Agrônomo – Universidade Federal de Lavras, email: arielcostaagroufla@hotmail.com.

<sup>5</sup> Química, Doutora em Agroquímica, Técnica de laboratório – Universidade Federal de Lavras, email: alinemonteiro@dca.ufla.br.

<sup>6</sup> Engenheira Química, Doutora em Ciência dos Alimentos – Universidade Federal de Lavras, email: kelen\_cr@yahoo.com.br.

<sup>7</sup> Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciência dos Alimentos, Professor – Universidade Federal de Lavras, email: evbvboas@dca.ufla.br.

Este trabalho teve o objetivo de produzir cenouras minimamente processadas recobertas com cobertura a base de amido reforçado com suspensão de celulose micro/nanofibrilada (CMNF) extraídas da cenoura. Para o processamento mínimo, cenouras previamente sanitizadas com solução de hipoclorito de sódio, foram descascadas, cortadas em rodela, novamente sanitizadas e centrifugadas. Foram preparadas três coberturas a 3% de amido de milho, duas delas foram adicionadas de 5% de suspensão de CMNF de cenoura, sendo uma a 20% de cenoura (relação da quantidade de água destilada e quantidade de cenoura para o preparo); e o outro a 40% de cenoura; a última formulação foi preparada sem adição de suspensão de CMNF de cenoura. Gerou-se 4 tratamentos, sendo T1 composto por cenouras recobertas com cobertura de amido contendo CMNF de cenoura a 20%; T2 composto por cenouras recobertas com cobertura de amido contendo suspensão de CMNF de cenoura a 40%; C1 contendo cenouras recobertas com cobertura de amido sem suspensão de CMNF de cenoura e C2 contendo cenouras sem cobertura alguma. O armazenamento das mesmas foi em bandeja de polipropileno em câmara fria. Foram analisadas quanto a perda de massa, sólidos solúveis, acidez titulável, açúcares solúveis totais, pH, ácidos orgânicos, atividade respiratória, pectina total e solúvel, firmeza, cor, atividade antioxidante total, fenólicos totais e análises microbiológicas (fungos filamentosos e leveduras, coliformes totais e fecais e *Salmonella* sp) a cada 7 dias, durante 28 dias de armazenamento. O uso de cobertura de amido permitiu menor perda de massa em cenouras minimamente processadas, sendo que o reforço com suspensão de CMNF de cenoura diminuiu ainda mais esta perda. O uso de cobertura de amido reforçada com suspensão de CMNF de cenoura foi eficiente para diminuir a taxa respiratória, na prevenção do esbranquiçamento e na manutenção da atividade antioxidante total, quantidade de fenólicos totais e de ácidos orgânicos de cenouras minimamente processadas. As cenouras não apresentaram contagem significativa de fungos filamentosos e leveduras e ausência de *Salmonella* sp. e de coliformes a 35 e 45 °C, estando assim, livres também de *Echerichia coli*. Assim, a cobertura comestível de amido reforçada com com suspensões de celulose micro/nanofibrilada de cenoura estende a vida útil de cenouras minimamente processadas.

**Palavras-chave:** *Daucus carota*; processamento mínimo; filme comestível de amido; celulose microfibrilada; celulose nanofibrilada.

## 1. INTRODUÇÃO

Embora haja grande disponibilidade de produtos vegetais acessíveis à substancial parcela da população brasileira, observam-se níveis inaceitáveis de perdas destes produtos devido a técnicas inadequadas adotadas desde a colheita até o armazenamento. Assim, o processamento mínimo de frutas e hortaliças

pode contribuir com a redução de desperdícios, além de possibilitar maior praticidade e economia de tempo no preparo diário de alimentos, cada vez mais necessários ao mundo moderno (ALVES et al., 2010).

O processamento mínimo de hortaliças compreende as operações que eliminam as partes não comestíveis como cascas, talos e sementes, seguidas pelo corte em tamanhos menores, tornando-as prontas para consumo imediato e mantendo sua condição de produto ao natural (LANA, 2000).

A cenoura (*Daucus carota*) constitui-se em uma das hortaliças mais produzidas no Brasil, ocupando a quinta posição das hortaliças mais produzidas, sendo de grande emprego na indústria de alimentos, podendo ser processada para conserva enlatada, em mistura com outras hortaliças ou também na forma desidratada. O cultivo da cenoura abrange cerca de 28 mil hectares/ano nas diferentes regiões do Brasil (SAPGNOL et al., 2006; STRANGHETTI et al., 2015; PROHORT, 2015). Ela é a principal fonte de origem vegetal em carotenoides provitamínicos A, especialmente o  $\alpha$  e o  $\beta$ -caroteno que podem ser transformados em vitamina A no organismo humano (LIMA et al., 2004).

Cenouras minimamente processadas são uma das hortaliças mais popularmente consumidas no mundo. No entanto, as operações de processamento mínimo promovem alterações bioquímicas e aceleram a deterioração fisiológica, além de aumentarem os riscos de contaminação microbiológica (RAGAERT et al., 2007). A descoloração causada pela desidratação do tecido e deterioração microbiana são os principais problemas limitantes da vida útil de cenouras minimamente processadas (EMMAMBUX; MINNAAR, 2003).

O emprego de filmes e coberturas a base de biopolímeros (principalmente polissacarídeos e proteínas) em produtos minimamente processados é prática comum na tentativa de estender a vida útil destes produtos, devido o controle da migração de vapor de água, permeabilidade ao  $O_2$ ,  $CO_2$  e migração lipídica em um sistema alimentício, além de reduzir a taxa de respiração por meio da criação de uma atmosfera modificada em torno dos mesmos, retardando assim o amadurecimento e senescência (KROCHTA; De MULDER-JOHNSON, 1997; ALI et al., 2011).

Os biocompósitos são materiais constituídos por uma fase dispersante (contínua), que é o biopolímero e por uma fase dispersa (descontínua), que pode ser uma nanocarga ou uma nanopartícula. Em geral, os biocompósitos se referem aqueles constituídos por um único ou uma mistura de biopolímeros com pelo menos um agente de reforço orgânico ou inorgânico (MIHINDUKULASURIYA; LIM, 2014). Os biocompósitos exibem elevadas propriedades de barreira e mecânica, e melhor resistência ao calor em comparação aos seus biopolímeros puros (RHIM et al., 2013).

De acordo com Habibi et al.(2010), cerca de 36 moléculas de celulose individuais são reunidas por biomassa em unidades conhecidas como fibrilas ou

microfibrilas elementares, que são embaladas em unidades maiores chamadas celulosas microfibriladas. Celulose micro/nanofibrilada (CMNF), também chamada de microfibrilas de celulose, celulose microfibrillar, ou ainda, celulose nanofibrilada, tem sido estudada, particularmente em termos de aplicações para produzir biocompósitos. O diâmetro das microfibrilas elementares é de cerca de 5 nm, ao passo que a celulose micro/nanofibrilada ou celulose nanofibrilada tem diâmetros que variam de 20 a 50 nm (SIQUEIRA et al., 2010; SIRÓ; PLACKETT, 2010).

O recobrimento de amido reforçado com suspensões de CMNF de cenoura proposto no presente trabalho é um exemplo de biocompósito, sendo o amido a fase dispersante e as suspensões de CMNF de cenoura a fase dispersa. Os biocompósitos exibem elevadas propriedades de barreira e mecânica, e melhor resistência ao calor em comparação aos seus biopolímeros puros e compósitos convencionais (RHIM et al., 2013). Azeredo et al. (2009) e Azeredo et al. (2012) estudaram a aplicação de nanofibras de celulose em filmes produzidos a partir de purê de manga e acerola, respectivamente, em ambas as avaliações foi observada melhora na barreira à perda de água com a adição de nanofibras de celulose. Guimarães et al. (2016) observaram que o uso de filme de amido reforçado com nanopartículas de montmorilonita combinado com atmosfera modificada levam a preservação de atividade antioxidante total, voláteis e ácidos orgânicos de cenouras minimamente processadas.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar, ao longo do armazenamento, cenouras minimamente processadas recobertas com cobertura comestível de amido reforçada com suspensões de celulose micro/nanofibrilada obtidas da própria cenoura.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Processamento mínimo das cenouras e aplicação das coberturas de amido**

As cenouras foram adquiridas no comércio local de Lavras, Minas Gerais, Brasil e transferidas para o Laboratório de Processamento Mínimo de Vegetais do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras.

Para obtenção das suspensões de CMNF de cenoura foi utilizada metodologia proposta por Guimarães Jr. et al. (2015) e Bufalino et al. (2015), com algumas modificações:

As cenouras foram lavadas e sanitizadas com 200 ppm de hipoclorito de sódio. Foram preparados dois homogenatos, de 2 L cada um, de cenoura com água destilada, um com 20 % (~402g) de cenoura (relação de cenoura (base seca) em relação ao conteúdo de água destilada utilizada na preparação) e outro com 40% (~802g) de cenoura (relação de cenoura (base seca) em relação ao

conteúdo de água destilada utilizada na preparação). Primeiramente, as cenouras lavadas e sanitizadas foram raladas e então misturadas à água e os homogenatos foram preparados com auxílio de um politron (Tecnal, modelo Turratrec 102) por aproximadamente 12 h, com intervalos de 30 min entre uma passagem e outra pelo politron. Os homogenatos foram levados para o Laboratório de Nanotecnologia do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Lavras, onde foram processados. O processamento dos mesmos foi realizado em desfibrilador mecânico tipo GRINDER SUPERMASSCOLOIDER® (MKCA6-3, MASUKO SANGYOU Co., Ltda.) com velocidade de trabalho de 1700 rpm e corrente elétrica de 5A. Suspensões com aspecto gelatinoso foram obtidas após 40 passagens pelo desfibrilador. As suspensões foram coletadas e armazenadas em ambiente resfriado (4°C) para serem posteriormente utilizadas no preparo das coberturas comestíveis.

O processamento mínimo das cenouras foi realizado no Laboratório de Processamento Mínimo de Vegetais do Departamento de Ciência dos Alimentos da Universidade Federal de Lavras, onde foram previamente sanitizadas com solução de 200 ppm de hipoclorito de sódio, por 15 min e resfriadas, a 4°C, por aproximadamente 12 h, então foram descascadas, cortadas em rodela de aproximadamente 0,5 cm de espessura, novamente sanitizadas com solução de 100 ppm de hipoclorito de sódio e centrifugadas.

Coberturas foram preparadas com amido de milho a 3% (p/p) + glicerol a 20% (p/p), pelo processo de *casting* segundo metodologia proposta por Reis et al. (2006). Três formulações diferentes foram elaboradas, duas delas reforçadas com suspensões de CMNF de cenoura a 5% (em relação à quantidade de amido), sendo que uma foi preparada com suspensão de CMNF a 20% (~402g) de cenoura (relação de cenoura (base seca) em relação ao conteúdo de água destilada utilizada na preparação das suspensões de CMNF); e a outra com suspensão de CMNF a 40% (~802g) de cenoura (relação de cenoura (base seca) em relação ao conteúdo de água destilada utilizada na preparação das suspensões de CMNF).

As cenouras minimamente processadas foram submetidas a 4 tratamentos diferentes: T1 – cenouras recobertas com cobertura comestível de amido reforçado com suspensão de CMNF de cenoura a 20%; T2 – cenouras recobertas com cobertura comestível de amido reforçado com suspensão de CMNF de cenoura a 40%, C1 – controle 1, cenouras recobertas com cobertura comestível de amido; C2 – controle 2, sem cobertura. As cenouras que receberem cobertura foram imersas nas respectivas soluções de amido por 3 min. Todas as amostras foram acondicionadas em bandejas rígidas de polipropileno com tampas do mesmo material. O armazenamento das mesmas foi em câmara fria a 4°C (+/- 0,5°C) e 90% (+/- 5%) de UR. Utilizou-se três repetições, sendo cada repetição constituída por uma bandeja contendo aproximadamente 100 gramas de cenoura minimamente processada.



## **2.2 Análises realizadas**

As amostras de cenouras minimamente processadas foram analisadas aos 0, 7, 14, 21 e 28 dias de armazenamento.

### **2.2.1 Perda de massa**

A perda de massa foi calculada como a porcentagem diferencial entre o peso inicial das cenouras no armazenamento e o peso final das mesmas após os dias de armazenamento (7, 14, 21 e 28 dias). Foi utilizada balança semi-analítica para a pesagem das cenouras.

### **2.2.2 Sólidos Solúveis (SS)**

Foram determinados por refratometria, em refratômetro digital ATAGO PR – 100 com compensação de temperatura automática a 25°C (AOAC, 2000), e os resultados foram expressos como % de SS.

### **2.2.3 Açúcares solúveis totais (AST)**

Foram extraídos com álcool etílico 95% (v/v) e determinados pelo método de antrona (DISCHE, 1962), sendo os resultados expressos em g de glucose.100g<sup>-1</sup> de cenoura.

### **2.2.4 Acidez titulável (AT)**

A determinação da AT foi realizada por titulação com solução de NaOH a 0,1 mol.L<sup>-1</sup>, de acordo com AOAC (2000), e expressa em % de ácido málico.

### **2.2.5 Determinação do pH**

Foi determinado pelo método potenciométrico em potenciômetro digital, pHmetro TECNAL (Tec 3MP), segundo técnica da AOAC(2000).

### **2.2.6 Ácidos orgânicos**

Foram determinados e quantificados os seguintes ácidos: ascórbico, cítrico, tartárico e málico. A extração das amostras foi realizada pela adição de aproximadamente 1 g de amostra triturada e 5 mL de solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,05 mol.L<sup>-1</sup>, deixado em banho ultrassom por 10 min. A solução resultante foi filtrada em membrana de polietileno 0,45 µm (Milipore) diretamente em vial de 2,0 mL.

Um HPLC Shimadzu, equipado com bombas quaternárias de alta pressão modelo LC-20 AD, detector de arranjo de diodos (DAD) modelo SPD-M20A, injetor automático modelo SIL-M 20A foram utilizados na análise.

A separação dos componentes da amostra foi realizada empregando-se uma coluna empacotada Shim-pack VP ODS (250 x 4,6 mm), conectada a uma pré-coluna Shim Pack VP-ODS (5,0 x 4,0 mm). A fase móvel utilizada foi

tampão fosfato 0,005 mol.L<sup>-1</sup>(pH=3). A absorvância medida a 254 nm para o ácido ascórbico e 210 nm para os demais ácidos, no fluxo de 1,0 mL.min<sup>-1</sup>, temperatura ambiente (25°C), volume de injeção de 20 µL e método isocrático.

A quantificação foi realizada utilizando-se o método de padronização externa. A curva analítica foi obtida por sucessivas diluições da solução estoque em solução de tampão fosfato 0,005 mol.L<sup>-1</sup>(pH=3). Essa quantificação foi obtida por regressão linear, plotando-se a área do pico versus concentração.

### **2.2.7 Atividade respiratória**

A taxa respiratória foi determinada pelo monitoramento de gases (% de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>) utilizando-se PBI Dansensor, após repouso das cenouras por 1 hora em frasco de vidro fechado hermeticamente.

### **2.2.8 Pectina total, pectina solúvel e solubilidade**

Foram extraídas segundo a técnica descrita por McCready e McComb (1952) e determinadas colorimetricamente, segundo Bitter e Muir (1962). Os resultados foram expressos em mg de ácido galacturônico.100 g<sup>-1</sup> de cenoura. O percentual de solubilidade foi obtido pela razão entre a pectina solúvel e pectina total (PS/PT).

### **2.2.9 Firmeza**

Determinada em texturômetro TA.XT2i, utilizando-se probe HDP/VB, sendo avaliada a força (N) gasta para romper o tecido da amostra e penetrar 5 mm da rodela de cenoura.

### **2.2.10 Cor**

Foi avaliada a coloração de três diferentes regiões (periférica (ao longo do perímetro da circunferência), central (no centro da circunferência) e lateral (entre a região central e perimetral) (Figura 1) em colorímetro Minolta modelo CR 400 (Japão), trabalhando com D65 (luz do dia) e usando os padrões CIE Lab: onde L (corresponde a claridade), varia de 0 (preto) a 100 (branco); a\* varia do -60 (verde) ao +60 (vermelho); b\* varia de -60 (azul) ao +60 (amarelo). As variáveis a\* e b\* foram utilizadas para calcular o valor do ângulo Hue (°H) e da cromaticidade (C\*), conforme recomendado por McGuire (1992).

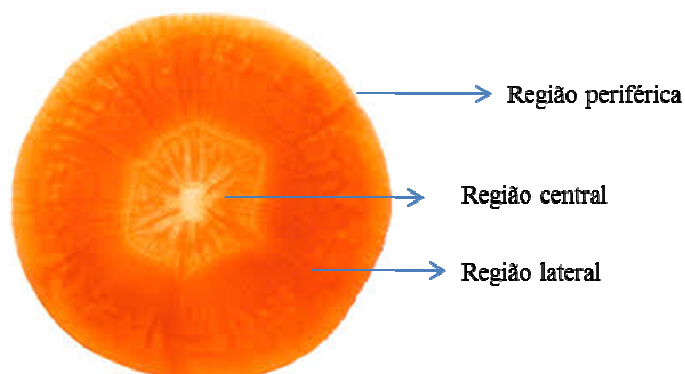


Figura 1 Regiões da cenoura em que foi avaliada a coloração. UFLA, Lavras, 2015.

#### 2.2.11 Atividade antioxidante total

Para obtenção do extrato utilizou-se de metodologia descrita por Brand-Williams, Cuvelier e Berset (1995), adaptada por Rufino, et al. (2007), sendo utilizado 2 g das amostras trituradas em 20 mL de álcool metílico 50% e deixada em repouso por 1 h à temperatura ambiente. Após este período, a mistura foi centrifugada a 14.000 rpm por 15 min. O sobrenadante foi coletado e adicionado 20 mL de acetona 70% ao resíduo, que foi homogeneizado e deixado em repouso por 1 hora à temperatura ambiente. Em seguida, centrifugou-se a 14.000 rpm por 15 min. O sobrenadante foi coletado, adicionado ao primeiro sobrenadante e o volume foi completado para 50 mL com água destilada.

A metodologia empregada na determinação da atividade antioxidante foi baseada na extinção da absorção do radical 2,2-difenil-1-picril hidrazil (DPPH 60  $\mu$ M), proposta por Rufino et al. (2007), com algumas adaptações em relação ao cálculo, calculando-se o percentual de sequestro do radical livre DPPH a partir do padrão.

Para a determinação da capacidade antioxidante, foi adicionado 0,1 mL de cada extrato das amostras a 3,9 mL de solução de DPPH. Para o controle, foi adicionado 0,1 mL de metanol juntamente ao DPPH, no lugar do extrato. As leituras foram realizadas após 30 minutos, em espectrofotômetro a 515 nm e os resultados foram expressos em percentual de sequestro de radical livre (%SRL), conforme equação 1:

$$\%SRL = (Ac - Am) \times 100 / Ac \quad (1)$$

em que,

Ac = absorbância do controle;

Am = absorbância da amostra.

### 2.2.12 Fenólicos totais

Para a determinação e quantificação dos compostos fenólicos totais foi utilizado o extrato, extraído para a análise de atividade antioxidante total. Os fenólicos totais foram obtidos conforme o método colorimétrico, desenvolvido por Waterhouse (2002), com a utilização do reagente de Folin-Ciocalteu, em solução com concentração de 10% (v/v).

Para calcular os teores de fenólicos totais, construiu-se uma curva padrão com solução de ácido gálico. Os resultados foram expressos como equivalentes de ácido gálico (g EAG.g<sup>-1</sup> de cenoura).

## 2.3 Análises microbiológicas

As análises foram realizadas no laboratório de Microbiologia do Departamento de Ciência dos Alimentos da UFLA. Todas as análises foram feitas em triplicata utilizando três diluições (10<sup>-1</sup>, 10<sup>-2</sup>, 10<sup>-3</sup>). A unidade analítica para as análises de coliformes a 35 e 45 °C e fungos filamentosos e leveduras das cenouras foi de 25 g retiradas assepticamente da amostra e transferidas para um agitador estéril com 225 mL de água peptonada 0,1%, utilizada para fazer as diluições decimais seriadas subsequentes. Essas diluições foram preparadas em tubos contendo 9 mL de água peptonada 0,1%, utilizando-se a técnica de transferência de 1 mL da amostra.

As metodologias utilizadas foram as propostas pelo International Commission on Microbiological Specifications for Foods – ICMSF e Silva et al. (2007).

### 2.3.1 Coliformes a 35°C e 45°C (termotolerantes)

Foi utilizado o método de determinação em tubos contendo Caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) a 35°C para contagem de coliformes totais e a 45°C para contagem de coliformes termotolerantes. A presença de *Escherichia coli* foi confirmada com a inoculação de alíquotas dos tubos positivos para coliformes a 45 °C em placas contendo ágar eosina azul de metileno (EMB). Foram consideradas positivas as colônias típicas com coloração verde brilhante.

### 2.3.2 Determinação de *Salmonella* sp.

Foram pesados 25 g de amostra e adicionados em erlenmeyers contendo 225 mL de água tamponada, e incubados, a 37°C, por 18 horas. Posteriormente, realizou-se o enriquecimento da amostra utilizando-se os caldos tetracionato e rapaport, com incubação, a 37°C, por 24 h. Para o plaqueamento, foi utilizado o meio Rambach, incubada a 37°C, por 24 h. Colônias suspeitas foram isoladas e transferidas para tubos contendo ágar ferro tríplice açúcar (TSI)

e ágar lisina de ferro (LIA), sendo incubados, a 37°C, por 24 horas e, posteriormente, submetidos a provas bioquímicas.

### **2.3.3 Contagem de fungos filamentosos e leveduras**

Para contagem de fungos filamentosos e leveduras foi utilizado método de contagem por plaqueamento em superfície com meio de cultura Ágar Dicloran Rosa de Bengala Cloranfenicol (DRBC).

### **2.4 Análise estatística**

Os dados foram submetidos à análise de variância e, quando os fatores isolados ou sua interação foram significativos à regressão polinomial e ao teste de Tukey, a 5% de significância, usando delineamento inteiramente casualizado (DIC) em fatorial 4x5 (4 tratamentos e 5 tempos de armazenamento), com 3 repetições, sendo a parcela experimental composta por uma bandeja (aproximadamente 100g) de cenouras minimamente processadas, utilizando software SISVAR (versão 5.3) (FERREIRA, 1999). Quando houve efeito significativo da interação, realizou-se o desdobramento dos tratamentos em cada tempo de armazenamento.

## **3. RESULTADOS E DISCUÇÃO**

### **3.1 Perda de massa**

Houve efeito significativo da interação tempo x tratamento ( $p < 0,05$ ) para variável perda de massa de cenouras minimamente processadas. A perda de massa foi crescente, independente do tratamento utilizado. Entretanto, cenouras submetidas à cobertura comestível (T1, T2 e C1) apresentaram menor perda de massa no decorrer do tempo (Figura 2). Cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensões de CMNF de cenoura (T1 e T2) sofreram menor perda de massa ao fim do armazenamento (Figura 2), sugerindo que as suspensões de CMNF de cenoura são capazes de melhorar as propriedades das coberturas e filmes biodegradáveis, como a propriedade de barreira a perda de água (AZEREDO et al., 2009; AZEREDO et al., 2012). Utilizando as equações de regressão, observa-se que as cenouras do tratamento C1 levariam 44 dias para chegarem a 1,2% de perda, como observado no tratamento C2 em 28 dias (maior perda observada), já para T1, o tempo necessário para chegar a esta perda seriam 49 dias e para T2 seriam necessários 62 dias. Assim o tratamento T2, que continha cobertura de amido reforçada com suspensão de CMNF de cenoura a 40% foi o mais eficiente para diminuir perda de massa.

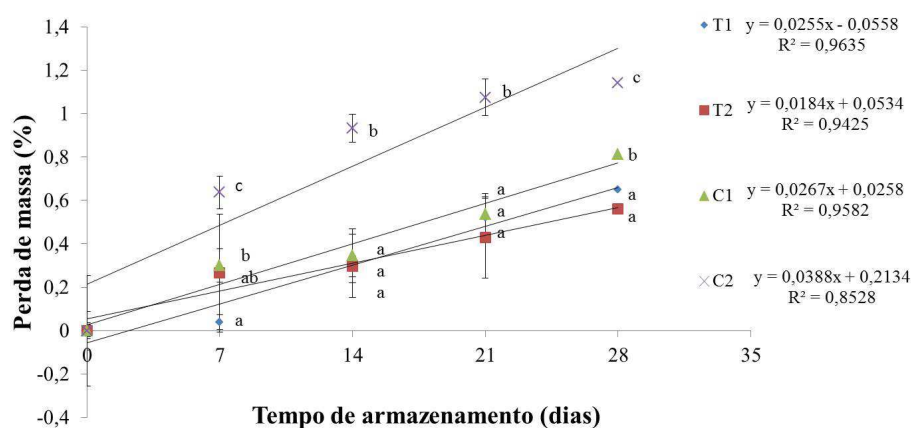


Figura 2 Perda de massa durante o armazenamento refrigerado de cenouras minimamente processadas com diferentes tratamentos (T1:cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1:cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento). As médias seguidas pela mesma letra em cada tempo de armazenamento não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

A perda de massa excessiva é um dos principais fatores relacionados com a perda da qualidade comercial de frutos e hortaliças (MEDINA, 1984). Os frutos e as hortaliças sofrem alguma perda de massa durante o armazenamento devido ao efeito combinado de respiração e transpiração, mesmo quando mantidos em condições ideais (CHITARRA; CHITARRA, 2005). Segundo Vicentini et al. (1999), a perda de pequenas quantidades de água por frutas e hortaliças é tolerável, mas aquelas que resultam em murchamento, ou enrugamento, devem ser controladas. O murchamento pode ser minimizado pela redução da taxa de transpiração, que pode ser diminuída pelo aumento da umidade relativa e a diminuição da temperatura ambiente (BARROS et al., 1994). Outras maneiras de se amenizar a perda de massa é a utilização de atmosfera modificada e/ou do recobrimento com filmes comestíveis, juntamente com o emprego da refrigeração (LANA, 2000), bem como pela utilização de coberturas de biocompósitos.

Segundo Izume et al. (1996), a perda de matéria fresca por cenoura minimamente processada é o somatório da perda de água por transpiração e da perda de carbono pela respiração, processo que ocorre durante todo o período de

armazenamento, sendo tanto maior quanto maior for a temperatura e quanto menor for o tamanho dos cortes. Pelos resultados do presente trabalho, fica claro que o recobrimento das cenouras minimamente processadas com cobertura comestível de amido reforçadas com suspensões de CMNF de cenoura diminui a perda de massa provavelmente devido à diminuição da transpiração e respiração, já que o recobrimento tem propriedades de barreira ao vapor d'água e a gases, e as micro/nanofibrilas melhoram ainda mais essas propriedades.

### **3.2 Sólidos solúveis (SS), Açúcares solúveis totais (AST)**

Houve efeito significativo da interação tratamento x tempo para SS e para AST. Não foi possível ajustar a regressão para essas variáveis, pois o  $R^2$  calculado apresentou valor insatisfatório (abaixo de 60%). Os SS variaram de 6 a 9%, sendo observado um leve aumento em todos os tratamentos no decorrer do armazenamento. No 21º dia de armazenamento os tratamentos C1 e C2 apresentaram maior teor de SS, já no último dia de armazenamento os valores desta variável se igualaram entre os tratamentos (Tabela 1). Para AST foi observado, para todos os tratamentos, decréscimo desta variável durante o armazenamento (Tabela 2). Sabe-se que SS são representados principalmente por açúcares, mas outros compostos, como vitaminas, ácidos, pectinas e aminoácidos, em menor quantidade, também compõem esta variável, o que pode ser uma explicação para a diminuição dos AST enquanto o teor de SS aumentou discretamente.

De acordo com Chitarra e Carvalho (1984), a cenoura é constituída essencialmente por açúcares livres, com predominância da sacarose sobre a glicose e frutose, o que lhe proporciona grande sensibilidade gustativa, e Carlin et al. (1990) afirmam que em resposta à injúria causada em cenouras minimamente processadas, algumas alterações ocorrem, e entre elas citam a diminuição de sacarose, glicose e frutose. Assim, a diminuição observada nos AST no presente trabalho pode ser um efeito causado pelo processamento mínimo.

Tabela 1: Valores médios de SS (%) de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	SS (%)			
	T1	T2	C1	C2
0	6,44(±0,2)a	6,44(±0,2)a	6,44(±0,2)a	6,44(±0,2)a
7	6,99(±0,3)ab	8,00(±0,3)b	6,67(±0,6)a	7,33(±0,3)ab
14	7,44(±0,2)a	7,89(±0,5)ab	9,67(±0,6)c	8,67(±0,6)bc
21	66,67(±0,6)a	7,67(±0,6)ab	8,33(±0,6)b	8,33(±0,6)b
28	7,67(±0,7)a	7,89(±0,5)a	7,89(±0,5)a	7,89(±0,7)a

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

Tabela 2: Valores médios de açúcares solúveis totais ( $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ ) de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	AST ( $\text{g}\cdot 100\text{g}^{-1}$ )			
	T1	T2	C1	C2
0	5,09(±0,8)a	5,09(±0,8)a	5,09(±0,8)a	5,09(±0,8)a
7	5,82(±0,3)b	7,59(±0,4)c	2,99(±0,4)a	3,18(±0,7)a
14	4,44(±0,2)a	4,08(±0,4)a	4,22(±0,2)a	3,59(±0,1)a
21	4,16(±0,1)a	3,53(±0,6)a	5,92(±0,8)b	3,96(±0,2)a
28	3,81(±0,2)a	3,53(±0,5)a	4,03(±0,3)a	3,90(±0,2)a

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

### 3.3 pH, Acidez total (AT) e Ácidos orgânicos

Houve efeito significativo apenas do tempo de armazenamento, independente do tipo de tratamento, sobre as variáveis pH e AT. Segundo Chitarra e Chitarra (2005) o pH aumenta com a diminuição da acidez,



exatamente o que se observa no presente trabalho, discreto aumento do pH, acompanhado de discreta diminuição da AT ao longo do armazenamento (Figura 3). O pH variou de 6,1 a 6,45 (Figura 3A) e a AT variou de 0,08 a 0,063 % de ácido málico (Figura 3B). Resultado semelhante foi observado por Pilon (2003) e Alves et al. (2010) em cenouras minimamente processadas armazenadas sob refrigeração por 21 e 8 dias, respectivamente.

Os ácidos málico, ascórbico, cítrico, isocítrico e succínico foram identificados e quantificados nos diferentes tratamentos de cenouras minimamente processadas ao longo do tempo de armazenamento. Não houve efeito significativo de nenhum dos fatores para o ácido ascórbico, que apresentou valores próximos a  $0,025 \text{ mg.g}^{-1}$ , já para os demais ácidos encontrados houve efeito significativo da interação tratamento x tempo de armazenamento. Não foi possível ajustar a regressão para os ácidos cítrico, isocítrico e succínico, pois o  $R^2$  calculado apresentou valor insatisfatório (abaixo de 60%).

Observa-se diminuição da quantidade de ácido málico, ácido orgânico majoritário em cenoura, ao longo do armazenamento em todos os tratamentos, sendo que T2 apresentou maior quantidade deste ácido no último dia de armazenamento (Figura 4). O processamento mínimo leva ao aumento do processo respiratório dos vegetais, e, segundo Brody (1996), o teor de ácidos orgânicos tende a diminuir, levando ao aumento do pH, durante o processo de oxidação dos ácidos no ciclo dos ácidos tricarbóxicos em decorrência do processo de respiração, o que explica a diminuição do teor do ácido málico durante o armazenamento das cenouras minimamente processadas.

Em relação ao ácido cítrico, observou-se diferença entre os tratamentos apenas aos 14 e 21 dias de armazenamento, sendo que o tratamento T1 apresentou maior valor nestes dois tempos (Tabela 3). Os resultados encontrados para os ácidos málico e cítrico sugerem que o uso de cobertura de amido reforçada com suspensões de CMNF de cenoura contribuiu para menor perda destes ácidos em cenouras minimamente processadas armazenadas por 28 dias sob refrigeração.

Para os ácidos isocítrico e succínico observou-se discreto aumento ao longo do armazenamento em todos os tratamentos, sendo que ao final do armazenamento, o tratamento C1 apresentou o maior valor para o ácido isocítrico (Tabela 4) e o tratamento C2 apresentou maior valor para o ácido succínico (Tabela 5). Babic et al. (1993) comentam que o aumento de ácidos em cenouras minimamente processadas pode estar relacionada com o processo de lignificação e suberização e também com o mecanismo de defesa contra microrganismos.

A acidez em produtos hortícolas é atribuída, principalmente, aos ácidos orgânicos que se encontram dissolvidos nos vacúolos das células, tanto na forma livre, como combinada com sais, ésteres, glicosídeos, etc. (CHITARRA;

CHITARRA, 2005). Os ácidos orgânicos influenciam fortemente as propriedades sensoriais de vegetais em geral, principalmente no que diz respeito ao sabor, cor e aroma (KADER, 2008). Além disso, ácidos orgânicos afetam indiretamente o metabolismo de fenólicos por alteração do pH e por agirem como precursores dos mesmos (GALDON et al., 2008; KADER, 2008), o que pode justificar a diminuição da AT e de alguns ácidos orgânicos, como o málico e o cítrico, concomitantemente ao aumento no conteúdo de fenólicos totais (dados discutidos adiante).

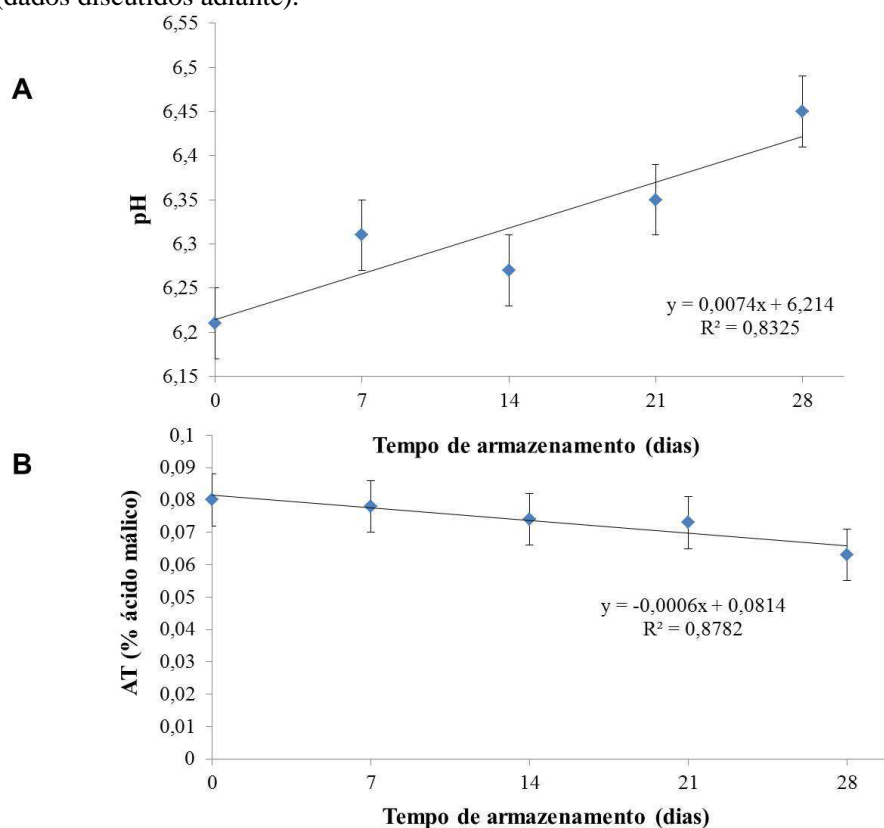


Figura 3 Valores médios de pH (A) e de acidez total (B) de cenouras minimamente processadas armazenadas por 28 dias.

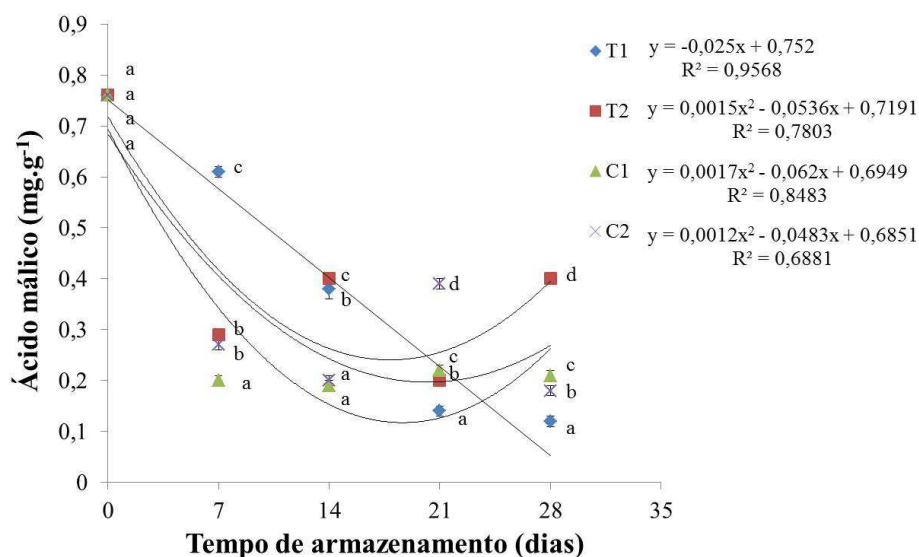


Figura 4 Teor de ácido málico durante o armazenamento refrigerado de cenouras minimamente processadas com diferentes tratamentos (T1:cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1:cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento). As médias seguidas pela mesma letra em cada tempo de armazenamento não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Tabela 3 Valores médios de ácido cítrico ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	Ácido Cítrico ( $\text{mg.g}^{-1}$ )			
	T1	T2	C1	C2
0	0,01( $\pm 0,01$ )a	0,01( $\pm 0,01$ )a	0,01( $\pm 0,01$ )a	0,01( $\pm 0,01$ )a
7	0,01( $\pm 0,01$ )a	0,02( $\pm 0,01$ )a	0,01( $\pm 0,01$ )a	0,01( $\pm 0,01$ )a
14	0,08( $\pm 0,05$ )b	0,03( $\pm 0,01$ )a	0,01( $\pm 0,01$ )a	0,01( $\pm 0,01$ )a
21	0,04( $\pm 0,05$ )b	0,03( $\pm 0,01$ )ab	0,01( $\pm 0,01$ )a	0,003( $\pm 0,005$ )ab
28	0,01( $\pm 0,01$ )a	0,02( $\pm 0,005$ )a	0,01( $\pm 0,01$ )a	0,02( $\pm 0,01$ )a

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

Tabela 4 Valores médios de ácido isocítrico ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	Ácido Isocítrico ( $\text{mg.g}^{-1}$ )			
	T1	T2	C1	C2
0	0,04( $\pm 0,005$ )a	0,04( $\pm 0,005$ )a	0,04( $\pm 0,005$ )a	0,04( $\pm 0,005$ )a
7	0,06( $\pm 0,005$ )b	0,05( $\pm 0,005$ )a	0,08( $\pm 0,005$ )c	0,18( $\pm 0,005$ )d
14	0,03( $\pm 0,005$ )a	0,06( $\pm 0,005$ )b	0,09( $\pm 0,005$ )c	0,11( $\pm 0,005$ )d
21	0,07( $\pm 0,005$ )a	0,04( $\pm 0,001$ )a	0,4( $\pm 0,01$ )c	0,15( $\pm 0,005$ )b
28	0,07( $\pm 0,005$ )b	0,05( $\pm 0,001$ )a	0,13( $\pm 0,01$ )c	0,07( $\pm 0,005$ )b

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

Tabela 5 Valores médios de ácido succínico ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	Ácido Succínico ( $\text{mg.g}^{-1}$ )			
	T1	T2	C1	C2
0	0,11( $\pm 0,002$ )a	0,11( $\pm 0,002$ )a	0,11( $\pm 0,002$ )a	0,11( $\pm 0,002$ )a
7	0,02( $\pm 0,002$ )a	0,08( $\pm 0,001$ )b	0,07( $\pm 0,002$ )b	0,09( $\pm 0,001$ )b
14	0,01( $\pm 0,001$ )a	0,08( $\pm 0,001$ )b	0,09( $\pm 0,001$ )b	0,09( $\pm 0,001$ )b
21	0,08( $\pm 0,001$ )a	0,09( $\pm 0,001$ )a	0,08( $\pm 0,001$ )a	0,01( $\pm 0,005$ )a
28	0,08( $\pm 0,001$ )ab	0,08( $\pm 0,001$ )ab	0,06( $\pm 0,002$ )a	0,09( $\pm 0,001$ )b

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

### 3.4 Firmeza, Pectina total (PT) e Pectina solúvel (PS)

A firmeza das cenouras minimamente processadas foi afetada significativamente apenas pelo tempo de armazenamento, sendo que foi observada diminuição da mesma ao longo do tempo, independentemente do tratamento. Houve queda na firmeza das cenouras de 82,12 N para 73,12 N (Figura 5).

Pectina solúvel (PS) foi afetada significativamente pela interação tratamento x tempo, já a pectina total (PT) foi afetada pelo tempo de armazenamento e pelo tratamento, separadamente. Observa-se um aumento da de PS até o 21º dia de armazenamento em todos os tratamentos (Figura 6), sendo que menor variação dessa variável foi observado no tratamento T2 ao longo do armazenamento. Para PT foi observado queda ao longo do armazenamento (Figura 7). As únicas diferenças observadas em PT foram entre os tratamentos T1 e C2, apresentado valores médios de  $1606,53 \text{ mg.}100\text{g}^{-1}$  e  $1827,94 \text{ mg.}100\text{g}^{-1}$ , respectivamente, podendo afirmar que o tratamento C2 apresentou o maior valor médio desta variável.

A diminuição da firmeza está relacionada, entre outros fatores, com o aumento no conteúdo de pectinas solúveis, como observado no presente trabalho.

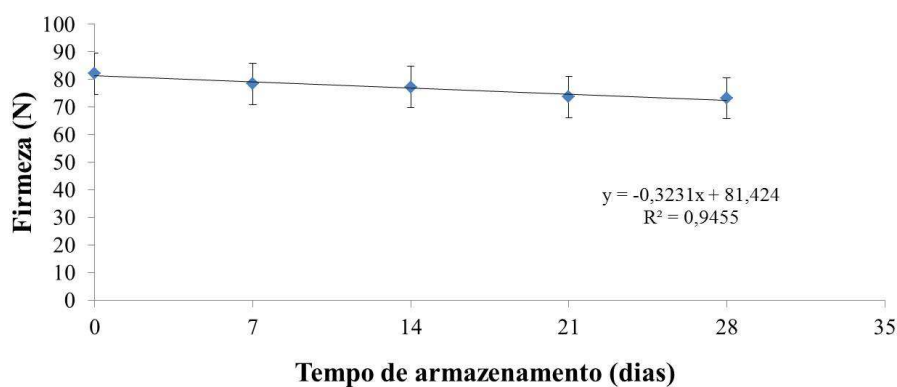


Figura 5 Valores médios de firmeza (N) de cenouras minimamente processadas armazenadas por 28 dias.

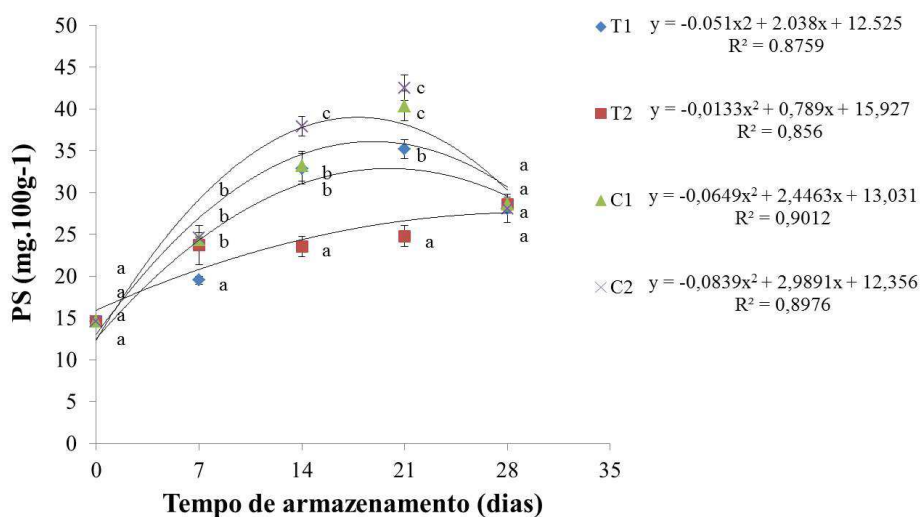


Figura 6 Valores médios de pectina solúvel durante o armazenamento refrigerado de cenouras minimamente processadas com diferentes tratamentos (T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + solução de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + solução de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem solução de celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento). As médias seguidas pela mesma letra em cada tempo de armazenamento não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

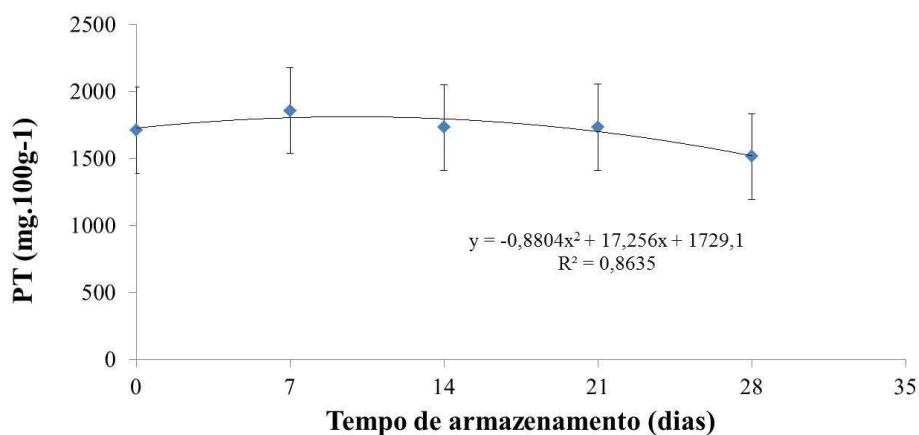


Figura 7 Valores médios de pectina total (mg.100g<sup>-1</sup>) de cenouras minimamente processadas armazenadas por 28 dias.

A firmeza de um vegetal está associada, em geral, à solubilidade das substâncias pécicas. Segundo Chitarra e Chitarra (2005), o processo de solubilização das pectinas contribui para o amaciamento dos tecidos em decorrência da redução da força de coesão entre as células e que a firmeza está relacionada com a força necessária para que o produto atinja uma dada deformação, dando uma idéia das transformações na estrutura celular, da coesão das células e das alterações bioquímicas, ocorridas durante a vida útil do produto em consequência da perda de turgor celular e/ou da ação de enzimas hidrolíticas da parede celular.

Cybulska et al. (2015) observaram aumento de pectinas solúveis e diminuição de pectina insolúvel em cenouras armazenadas por três meses, bem como, observaram também, aumento das enzimas responsáveis pela degradação de pectinas, pectinametilesterase (PME), que é responsável pela desmetoxilação da pectina e poligalactoronase (PG), que é responsável pela quebra de ligações  $\alpha$ -(1-4) de ácidos poligalacturônicos. A queda observada na firmeza das cenouras minimamente processadas, além da ação de enzimas pectinolíticas, também pode ser decorrente do aumento na atividade de outras enzimas, como as enzimas glicolíticas (glucanases) que participam da hidrólise da hemicelulose e outros componentes de parede celular que estão presentes em cenouras e podem ser ativadas como mecanismo de defesa a ataque microbiológico e/ou fermento (como o processamento mínimo, por exemplo) (TAIZ; ZEIGER, 2009; KUROSAKI et al., 1991; KUROSAKI et al., 1992), além da perda de massa, que é devido ao somatório da perda de água por transpiração e da perda de carbono através da respiração, levando ao murchamento e consequente perda de firmeza (IZUME et al., 1996; RESENDE et al., 2004).

Assim, a queda de firmeza observada no armazenamento de cenouras minimamente processadas do presente trabalho provavelmente é devido, em maior parte, à perda de massa e ao aumento do conteúdo de pectina solúvel observados ao longo do tempo de armazenamento (Figuras 1 e 6, respectivamente).

### 3.5 Taxa respiratória

A taxa respiratória foi afetada significativamente pela interação tratamento x tempo de armazenamento. Não foi possível ajustar a regressão para esta variável, pois o  $R^2$  calculado apresentou valor insatisfatório (abaixo de 60%). Observou-se menor taxa respiratória nos tratamentos com cobertura de amido adicionados de suspensão de CMNF de cenoura (T1 e T2), seguido do tratamento com cobertura de amido sem adição de suspensão de CMNF de cenoura (C1), sendo que as mais altas taxas respiratórias foram observadas nas cenouras sem recobrimento algum (C2) (Tabela 6).

Tabela 6: Valores médios de taxa respiratória ( $\text{mL de CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	Taxa respiratória ( $\text{mL de CO}_2 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ )			
	T1	T2	C1	C2
0	17,0(±2,3)a	16,9(±2,2)a	16,9(±2,3)a	17,0(±2,2)a
7	11,8(±2,3)a	13,0(±2,2)a	36,4(±2,3)b	53,7(±2,2)c
14	11,8(±2,3)a	15,6(±2,2)a	20,8(±2,3)b	32,2(±2,3)b
21	17,0(±2,3)a	22,1(±2,2)b	26,0(±2,3)bc	30,1(±2,3)c
28	17,0(±2,3)a	20,8(±2,2)ab	22,1(±2,3)bc	26,2(±2,3)c

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

Os danos físicos causados durante o processamento mínimo podem causar o aumento de produção de etileno e da taxa respiratória (KATONOGUSHI & WATADA, 1997), sendo a taxa respiratória de cenouras minimamente processadas o dobro da taxa respiratória de cenouras inteiras, podendo chegar a 4 ou 5 vezes maior após algumas horas do processamento, dependendo do tipo de corte (CHERVIN et al., 1992; IZUMI et al., 1996) e



como consequência, ocorre a aceleração de complexas reações bioquímicas responsáveis pelas alterações de cor, como o esbranquiçamento, bem como pelas perdas de aroma, sabor e qualidade nutricional (HUXSOLL & BOLIN, 1989). O aumento da taxa respiratória de cenouras minimamente processadas, bem como o consequente aumento de reações bioquímicas, é maior quanto maior for a temperatura de armazenamento, sendo ideal manter as cenouras sob temperaturas de refrigeração de aproximadamente 5°C, assegurando baixa taxa respiratória e metabolismo menos ativo (SAPGNOL et al., 2006).

O controle do efeito dos ferimentos sobre o metabolismo do produto é a chave para manter a qualidade de um produto minimamente processado durante o período necessário para distribuição e comercialização (BRECHT, 1995). O impacto dos danos físicos sobre a taxa respiratória pode ser reduzido pelo resfriamento do produto, uso de atmosfera modificada, uso de película comestível, etc. Os efeitos da película comestível sobre a taxa respiratória, observados nesse e em outros trabalhos são devido ao controle da migração de vapor de água e permeabilidade ao O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub>, que leva à redução da taxa de respiração através da criação de uma atmosfera modificada em torno do vegetal, retardando assim a senescência (LI; BARTH, 1998; ALI et al., 2011; LAI et al., 2013).

### 3.6 Coloração

As variáveis Claridade (\*L), Cromaticidade (C\*) e ângulo Hue (°H) foram avaliadas em diferentes pontos da cenoura minimamente processada (central, lateral e periférica) (Figura 1).

Em relação à parte central das cenouras, houve efeito significativo da interação tratamento x tempo de armazenamento para as variáveis L\* e Croma, sendo que a variável Hue variou significativamente somente em função do tempo de armazenamento; na parte lateral, as três variáveis analisadas (L\*, C\* e °H) sofreram efeito significativo da interação tratamento x tempo de armazenamento; já em relação à parte periférica, a variável L\* sofreu efeito somente do tempo de armazenamento e as demais variáveis analisadas (C\* e °H) sofreram efeito significativo da interação tratamento x tempo de armazenamento. Não foi possível ajustar a regressão para as variáveis L\* da região lateral, C\* e °H das três regiões avaliadas, pois o R<sup>2</sup> calculado apresentou valor insatisfatório (abaixo de 60%).

Foi observado aumento da claridade do centro e da lateral das cenouras em todos os tratamentos durante o tempo de armazenamento, sendo que, no final do período de armazenagem, os tratamentos com cobertura de amido adicionada de suspensões de CMNF de cenoura (T1 e T2) apresentaram os menores valores de L\* nas duas regiões (Figura 8 e Tabela 7, respectivamente). Na região periférica houve aumento dessa variável, independente do tratamento utilizado (Figura 9). O aumento do valor L\* em cenouras sugere o seu esbranquiçamento,

desordem normalmente observada durante armazenamento da raiz fatiada, que torna o produto com aspecto envelhecido e não atraente. Para alguns pesquisadores o esbranquiçamento de cenouras minimamente processadas é devido à desidratação das células superficiais causada pelo processamento (Tatsumi et al., 1993). Outros autores apontam que o motivo do esbranquiçamento é a formação de lignina na superfície dos cortes (Bolin & Huxsoll, 1999).

Com os resultados do presente trabalho, sugere-se a eficiência do uso de cobertura de amido reforçada com suspensões de CMNF de cenoura na prevenção do esbranquiçamento (Figura 10).

Para a variável Cromaticidade, que indica a pureza da cor, apesar das alterações estatisticamente significativas nas três regiões das cenouras, numericamente tais alterações foram muito pequenas, com poucas possibilidades de interferências visuais, a olho nu (Tabelas 8, 9 e 10).

Foi observada discreta variação do ângulo Hue da região central das cenouras no decorrer do tempo de armazenamento, independente do tratamento (Tabela 11). Já para o ângulo Hue das regiões lateral e periférica, foi observado discreto aumento em todos os tratamentos ao longo do armazenamento (Tabelas 12 e 13). Entretanto a variação nos valores de ângulo Hue das três regiões, apesar de estatisticamente significativa, foi numericamente pequena, provavelmente sem efeitos visuais.

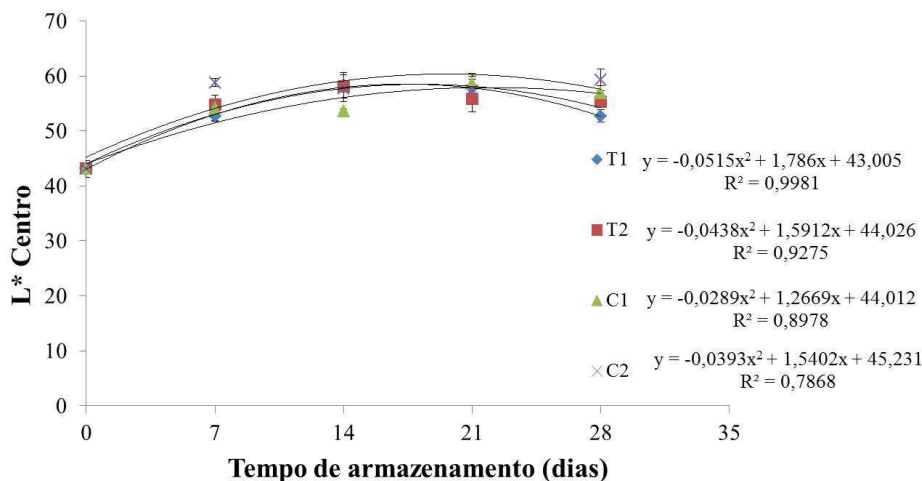


Figura 8 Valores médios de L\* da região central durante o armazenamento refrigerado de cenouras minimamente processadas com diferentes tratamentos (T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem

suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento). As médias seguidas pela mesma letra em cada tempo de armazenamento não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

Tabela 7: Valores médios de Claridade ( $L^*$ ) da região lateral de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	$L^*$ lateral			
	T1	T2	C1	C2
0	52,2( $\pm$ 1,6)a	52,2( $\pm$ 1,6)a	52,2( $\pm$ 1,6)a	52,2( $\pm$ 1,6)a
7	57,7( $\pm$ 2,0)a	59,8( $\pm$ 0,3)a	58,8( $\pm$ 1,3)a	59,3( $\pm$ 1,5)a
14	59,5( $\pm$ 2,8)a	59,5( $\pm$ 0,9)a	60,1( $\pm$ 1,3)a	61,8( $\pm$ 1,0)a
21	57,7( $\pm$ 0,8)ab	56,3( $\pm$ 1,8)a	59,7( $\pm$ 1,0)bc	62,7( $\pm$ 1,8)c
28	58,3( $\pm$ 1,4)a	58,9( $\pm$ 0,3)ab	60,7( $\pm$ 0,7)b	61,6( $\pm$ 1,0)b

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

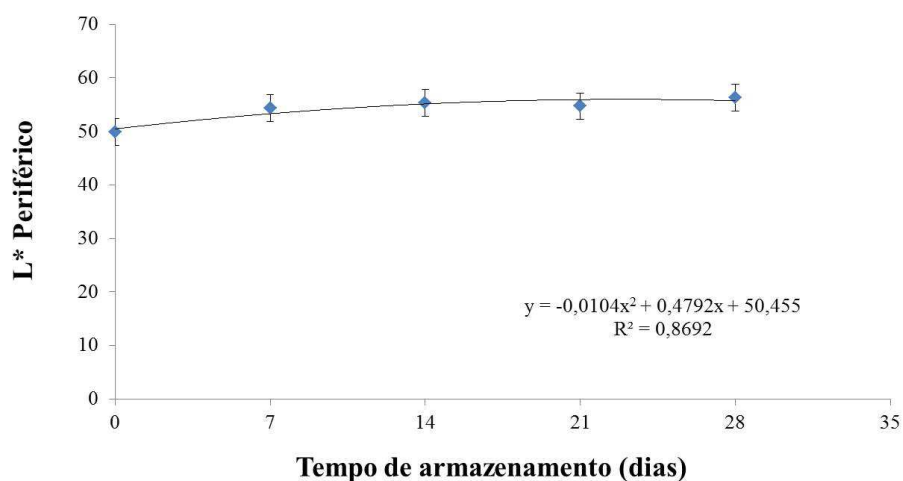


Figura 9: Valores médios da Claridade ( $L^*$ ) da região periférica de cenouras minimamente processadas ao longo do armazenamento refrigerado.



Figura 10 Imagens do esbranquiçamento das cenouras dos diferentes tratamentos no último dia de armazenamento. (T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento).

Tabela 8: Valores médios de C\* da região central de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	C* centro			
	T1	T2	C1	C2
0	31,7(±2,5)a	31,7(±2,5)a	31,7(±2,5)a	37,7(±2,5)a
7	34,6(±0,9)a	35,2(±2,0)ab	41,0(±0,6)b	35,0(±0,6)ab
14	33,1(±2,7)a	35,0(±0,8)a	37,0(±2,0)a	35,0(±2,5)a
21	35,9(±3,8)b	36,5(±1,6)b	29,4(±2,5)a	36,8(±0,2)b
28	36,2(±2,6)a	34,8(±1,1)a	38,8(±1,0)a	34,7(±0,5)a

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

Tabela 9: Valores médios de C\* da região lateral de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	C* lateral			
	T1	T2	C1	C2
0	38,4(±1,2)a	38,4(±1,2)a	38,4(±1,2)a	38,4(±1,2)a
7	48,9(±1,3)b	48,3(±0,4)ab	49,3(±1,6)b	44,7(±1,6)a
14	45,2(±3,3)a	43,3(±2,3)a	46,0(±0,8)a	46,0(±2,2)a
21	44,3(±0,8)a	42,7(±2,0)a	48,4(±3,1)b	45,0(±1,8)ab
28	35,9(±2,3)a	48,5(±1,1)b	48,05(±0,4)b	47,61(±2,0)b

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

Tabela 10: Valores médios de C\* da região periférica de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	C* periférico			
	T1	T2	C1	C2
0	32,8(±0,7)a	32,8(±0,7)a	32,8(±0,7)a	32,8(±0,7)a
7	46,5(±1,7)c	43,6(±0,8)bc	42,9(±0,9)ab	40,2(±1,1)a
14	43,2(±1,9)ab	44,3(±0,9)b	40,3(±0,5)a	43,8(±1,0)ab
21	38,4(±0,9)a	42,9(±1,9)b	41,7(±0,9)ab	39,5(±0,9)a
28	44,9(±0,4)b	42,3(±1,0)ab	43,6(±1,4)ab	41,3(±1,1)a

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

Tabela 11: Valores médios do ângulo hue ( $^{\circ}\text{H}$ ) da região central de cenouras minimamente processadas ao longo do armazenamento refrigerado.

Tempo de armazenamento (dias)	$^{\circ}\text{H}$ centro
0	43,53( $\pm$ 1,9)
7	55,57( $\pm$ 2,3)
14	52,14( $\pm$ 2,1)
21	49,27( $\pm$ 2,5)
28	52,71( $\pm$ 1,5)

Tabela 12: Valores médios de ângulo Hue da região lateral de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	$^{\circ}\text{H}$ lateral			
	T1	T2	C1	C2
0	44,1( $\pm$ 1,6)a	44,1( $\pm$ 1,6)a	44,1( $\pm$ 1,6)a	44,1( $\pm$ 1,6)a
7	47,4( $\pm$ 1,3)a	52,1( $\pm$ 0,4)a	53,3( $\pm$ 1,9)a	54,4( $\pm$ 1,7)a
14	52,7( $\pm$ 0,3)a	53,2( $\pm$ 0,6)a	55,6( $\pm$ 3,2)a	55,6( $\pm$ 1,2)a
21	52,7( $\pm$ 1,5)bc	46,9( $\pm$ 3,2)a	49,8( $\pm$ 1,7)ab	53,9( $\pm$ 1,7)c
28	48,8( $\pm$ 1,3)a	53,9( $\pm$ 1,5)b	52,1( $\pm$ 0,7)ab	49,2( $\pm$ 2,6)a

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

Tabela 13: Valores médios de ângulo Hue da região periférica de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	Hue periférico			
	T1	T2	C1	C2
0	53,3(±2,3)a	53,3(±2,3)a	53,3(±2,3)a	53,3(±2,3)a
7	55,0(±0,7)b	53,9(±1,1)ab	55,0(±0,6)b	50,4(±1,0)a
14	52,1(±0,7)a	54,4(±0,7)a	55,0(±1,4)a	54,4(±2,0)a
21	53,9(±0,8)a	52,1(±3,5)a	54,4(±0,6)a	54,4(±1,2)a
28	56,1(±0,4)b	53,3(±0,4)ab	51,6(±1,9)a	54,4(±1,0)a

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

### 3.7 Fenólicos totais e Atividade antioxidante total

Fenólicos totais, medidos em gramas de ácido gálico por gramas de cenoura e a atividade antioxidante total, medida em % de sequestro de radical livre (% SRL) foram influenciados pela interação tratamento x tempo de armazenamento. Não foi possível ajustar a regressão para a variável fenólicos totais, pois o  $R^2$  calculado apresentou valor insatisfatório (abaixo de 60%).

Observa-se que os tratamentos T1 e T2 apresentaram os maiores valores de fenólicos totais e atividade antioxidante total no final do armazenamento (Tabela 14 e Figura 11, respectivamente). Estes resultados sugerem que o recobrimento com a cobertura comestível reforçada com suspensões de CMNF de cenoura possa ser empregado como um aliado na preservação de fenólicos totais e da capacidade antioxidante de cenouras minimamente processadas. A maior eficácia dos revestimentos comestíveis adicionados de suspensões de celulose micro/nanofibrilada de cenoura, na preservação de antioxidantes, está provavelmente relacionada com a melhoria da barreira ao oxigênio ocasionada pela presença de micro/nanopartículas das suspensões, fazendo com que seja necessária menor atuação do sistema antioxidante para combater oxidações em presença de oxigênio (Sanchez-Garcia; Lagaron, 2010; Bendahou et al., 2011).

Houve aumento da quantidade de fenólicos totais em quase todos os tratamentos ao longo do armazenamento (Tabela 14). Este aumento pode ser devido ao estresse ocasionado pelo processamento mínimo, já que o corte leva a descompartimentalização de muitos compostos celulares, como algumas enzimas, incluindo a fenilalanina amônia liase (FAL) que participam da

produção de compostos fenólicos diversos, e essa produção de fenólicos é um meio de defesa de vegetais injuriados. Outros autores também observaram aumento de fenóis em cenouras prontas para consumo, como uma resposta ao dano induzido pelo processamento (BABIC et al., 1993; HOWARD AND GRIFFIN, 1993; KLAIBER et al., 2005; KENNY & O'BEIRNE, 2010, GUIMARÃES et al., 2016). Ke e Saltveit (1988) também observaram uma elevação acentuada no conteúdo total de fenóis em alface exposta a vários tipos de estresse (ataque de patógenos, tratamento de etileno).

A capacidade antioxidante de vegetais depende de um grande número de compostos (VINÃ & CHAVES, 2006). Chu et al. (2000) indicaram que vários fitoquímicos, como flavonóides, compostos fenólicos, aminoácidos, ácido ascórbico, tocoferóis e pigmentos podem contribuir para a atividade antioxidante total. Assim maior atividade antioxidante total observada nos tratamentos T1 e T2 no último de dia de armazenamento (Figura 11) pode ser devido ao maior acúmulo de fenólicos totais nestes tratamentos ao final do armazenamento (Tabela 14).

A quantidade de fenóis foi relatada como sendo benéfica para melhorar fitoquímicos de palitos de cenoura (SIMÕES et al., 2009). Cisneros-Zevallos (2003) propuseram o uso de estresses abióticos controlados, tal como ferimento, como uma ferramenta para melhorar o conteúdo fitoquímico de cenouras por induzir a síntese / acúmulo de compostos fenólicos. No entanto, pode ocorrer a percepção de gosto amargo e azedo na cenoura, que tem sido associado com alguns compostos fenólicos (LAFUENTE et al., 1996, TALCOTT et al., 2001; KREUTZMANN et al., 2008).



Tabela 14: Valores médios de fenólicos totais de cenouras minimamente processadas de diferentes tratamentos armazenadas por 28 dias.

Tempo de armazenamento (dias)	Fenólicos totais (g EAG.g <sup>-1</sup> de cenoura)			
	T1	T2	C1	C2
0	45,2(±0,7)b	32,9(±0,7)a	32,9(±2,7)a	45,2(±2,6)b
7	47,8(±3,5)b	44,8(±1,7)ab	49,4(±0,6)b	41,1(±2,4)a
14	38,4(±1,2)a	45,0(±0,4)bc	49,8(±0,6)c	40,4(±1,6)ab
21	53,4(±1,9)c	46,6(±1,1)b	42,3(±1,6)b	36,5(±1,2)a
28	51,9(±2,7)c	51,2(±0,1)bc	41,5(±2,1)a	45,8(±3,6)ab

Médias seguidas de letras iguais em cada tempo (mesma linha) não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey. T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento.

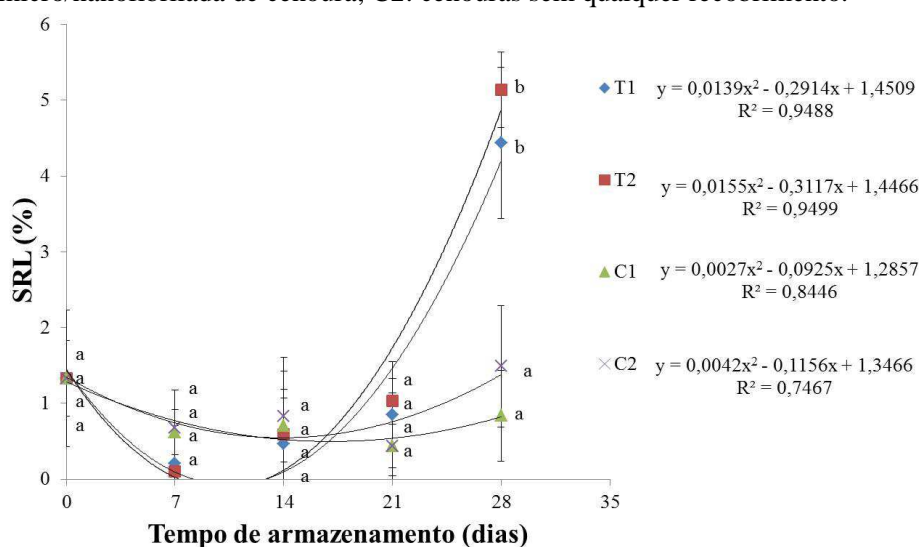


Figura 11: Valores médios de atividade antioxidante total (% SRL) durante o armazenamento refrigerado de cenouras minimamente processadas com diferentes tratamentos (T1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 20%; T2: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido + suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura a 40%; C1: cenouras recobertas com cobertura comestível de amido sem suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento).

comestível de amido sem suspensão de celulose micro/nanofibrilada de cenoura; C2: cenouras sem qualquer recobrimento). As médias seguidas pela mesma letra em cada tempo de armazenamento não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

### 3.8 Aspecto microbiológico

As cenouras minimamente processadas do presente trabalho apresentaram-se microbiologicamente aptas para o consumo em todo o tempo de armazenamento, visto que não apresentaram contagem significativa de fungos filamentosos e leveduras e mostraram-se isentas de *Salmonella* sp. e de coliformes a 35 e 45 °C, estando assim, livres também de *Echerichia coli*. Os resultados estão, então, de acordo com o estabelecido pela legislação vigente, a RDC n° 12 (BRASIL, 2001). Pela observação destes resultados é possível afirmar que as etapas do processamento mínimo foram conduzidas em condições higiênico-sanitárias satisfatórias.

Frutas e hortaliças frescas são geralmente incriminadas como veículos de enfermidades alimentares de origem fecal pela presença de *Escherichia coli* e *Salmonella* sp., oriundas da água de irrigação e/ou presença de dejetos no solo ou nos fertilizantes, ou ainda decorrente do manuseio inadequado, deficiência nos processos de limpeza e sanificação durante o processamento (GANGLIARDI; KARNS, 2000).

A legislação brasileira ainda não fixou padrões microbiológicos para os produtos minimamente processados. Portanto os padrões utilizados são aqueles que mais se aproximam de tais alimentos, os padrões para “hortaliças frescas, refrigeradas, cortadas ou congeladas, para o consumo direto”, que estabelece um limite máximo de  $5 \times 10^2$  NMP.g<sup>-1</sup> (2,7 ciclos log) para coliformes a 45°C e a ausência de *Salmonella* em 25 g do produto (BRASIL, 2001).

## 4. CONCLUSÃO

Nas condições experimentais do presente trabalho é possível afirmar que:

- O uso de cobertura de amido determina menor perda de massa em cenouras minimamente processadas, sendo que coberturas reforçadas com suspensão de CMNF de cenoura diminuem ainda mais esta perda;
- A taxa respiratória de cenouras minimamente processadas é diminuída quando se faz a aplicação de cobertura de amido reforçada com suspensão de CMNF de cenoura;
- O uso de cobertura de amido reforçada com suspensão de CMNF de cenoura é eficiente na prevenção do esbranquiçamento e na manutenção da atividade antioxidante

total, quantidade de fenólicos totais e de ácidos orgânicos de cenouras minimamente processadas;

- É de extrema importância que o processamento mínimo seja conduzido em condições higiênico-sanitárias satisfatórias para que o produto esteja apto e seguro para o consumo, ou seja, livre de microrganismos contaminantes durante seu período de vida útil.
- Cobertura de amido reforçada com soluções de CMNF de cenoura prolonga a vida útil de cenouras minimamente processadas.

#### ABSTRACT

##### **Edible film based on starch and suspensions of cellulose micro/nanofibrillated obtained of carrots extends the life of fresh-cut carrot**

This work aimed to produce minimally processed carrots covered with edible film starch-based reinforced with suspensions of micro/nanofibrillated cellulose (MNFC) obtained from carrot. For the minimal processing, carrots previously sanitized with sodium hypochlorite solution were peeled, sliced, sanitized again and centrifuged. Three covers were prepared at 3% corn starch, two of them were added 5% carrot MNFC suspension, being a 20% carrot (ratio of the amount of distilled water amount for the preparation of carrot); and the other 40% of carrot; the latter formulation was prepared without addition of carrot MNFC suspension. It is generated 4 treatments, T1 being composed of the carrots with starch coverage containing carrot MNFC suspension 20%; T2 comprises carrot with starch coverage containing carrot MNFC suspension 40%; C1 containing carrots coated with starch coverage without carrot MNFC suspension and C2 containing carrots without any coverage. The storing was in polypropylene tray in the freezer. Were analyzed for weight loss, soluble solids, titratable acidity, total soluble sugars, pH, organic acids, respiratory activity, total and soluble pectin, firmness, color, total antioxidant activity, total phenolic and microbiological analyzes (filamentous fungi and yeasts, total coliforms and fecal coliforms and Salmonella sp.) every 7 days, during 28 days of storage. The use of starch coverage permitted smaller mass loss of minimally processed carrots, wherein the reinforcement with carrot MNFC suspensions further reducing this loss. The use of starch cover reinforced with carrot MNFC suspensions was effective to decrease the respiration rate, the prevention of whitening and maintaining the total antioxidant activity, total amount of phenolic and organic acids minimally processed carrots. Carrots showed no

significant counts of filamentous fungi and yeasts and absence of Salmonella sp. and coliforms at 35 to 45 ° C and are therefore also free from Escherichia coli. Edible film based on starch and suspensions of cellulose micro/nanofibrillated obtained of carrots extends the life of minimally processed carrot

**Keywords:** Daucus carota; minimal processing; edible film of starch; microfibrillated cellulose; nanofibrillated cellulose.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALI, A.; MUHAMMAD, M. T. M.; SIJAM, K.; SIDDIQUI, Y. Effect of chitosan coatings on the physicochemical characteristics of Eksotika II papaya (*Carica papaya* L.) fruit during cold storage. **Food Chemistry**, v. 124, p. 620–626, 2011.

ALVES, J. A.; VILAS BOAS, E. V. de B; VILAS BOAS, B. M.; SOUZA, E. C. de. Qualidade de produto minimamente processado à base de abóbora, cenoura, chuchu e mandioquinha-salsa. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 30, n. 3, p. 625-634, jul.-set. 2010.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry**. 17.ed. Washington, DC, 2000. 1410p.

AZEREDO, H. M. C.; MATTOSO, L. H. C.; WOOD, D.; WILLIAMS, T. G.; AVENA- BUSTILLOS, R. J.; McHUGH, T. H. Nanocomposite Edible Films from Mango Puree Reinforced with Cellulose Nanofibers. **Journal of Food Science**. v. 74, n. 5, p. 31-35, 2009.

AZEREDO, H. M. C.; MIRANDA, K. W. E.; ROSA, M. F.; NASCIMENTO, D. M.; MOURA, M. R. de. Edible films from alginate-acerola puree reinforced with cellulose whiskers. **Food Science and Technology**, v. 46, p. 294-297, 2012.

BABIC, I.; AMIOT, M. J.; NGUYEN-THE, C. Changes in phenolic content in fresh ready-to-use shredded carrots during storage. **Acta Horticulturae**, n. 343, p. 123-129, 1993.

BARROS, J. C. S. M.; GOES, A.; MINAMI, K. Condições de conservação pós-colheita de frutos de pimentão (*Capsicum annum* L.). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 51, n. 2, p. 363-368, 1994.

BENDAHO, A.; KADDAMI, H.; ESPUCHE, E.; GOUANVÉ, F.; DUFRESNE, A.. Synergism effect of montmorillonite and cellulose whiskers on the mechanical and barrier properties of natural rubber composites. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 296, n. 8, p. 760–769, 2011.

BOLIN, H.R.; HUXSOLL, C.C. 1991. Control of minimally processed carrot (*Daucus carota*) surface discoloration caused by abrasion peeling. **J Food Sc.** 56: 2: 416-418.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº12**, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o regulamento técnico para misturas para o preparo de alimentos e alimentos prontos para consumo. Brasília, 2001

BRECHT, J. K. Physiology of lightly processed fruits and vegetables. **HortScience**, v. 30, n. 1, p. 18-21, 1995.

BITTER, T.; MUIR, H. M. A modified uronic acid carbazole reaction. **Analytical Chemistry**, New York, v. 34, p. 330-334, 1962.

BUFALINO, L., NETO, A.R.D., TONOLI, G.H.D., FONSECA, A. DE S., COSTA, T.G., MARCONCINI, J.M., COLODETTE, J.L., LABORY, C.R.G., MENDES, L.M. How the chemical nature of Brazilian hardwoods affects nanofibrillation of cellulose fibers and film optical quality. **Cellulose**, v. 22, p. 3657–3672, 2015.

BRODY, A. L. **Envasado de alimentos em atmosferas controladas, modificadas y vazio**. Zaragoza: Acribia, 1996. 220 p.

CARLIN, F.; NUGYEN-THE, C.; HILBERT, G.; CHAMBROY, Y. Modified atmosphere packaging of fresh “ready-to-use” grated carrots in polymeric films. **Journal of Food Science**, v. 55, n. 4, p. 1033-1038, 1990.

CHERVIN, C.; TRIANTAPHYLIDES, C.; LIBERT, M.F.; SIADOUS, R.; BOISSEAU, P. Reduction of wound-induced respiration and ethylene production in carrot root tissues by gamma irradiation. **Postharvest Biology and Technology**, v. 2, n. 1, p. 7-17, 1992.

CHITARRA, M. I. F.; CARVALHO, V. D. Cenoura: qualidade e industrialização. **Informe Agropecuário**, v. 10, n. 120, 1984.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2 ed.rev.ampl. Lavras: UFLA, 2005. 785p.

CHU, Y. H., CHANG, CH. L., & HSU, H. F. Flavonoid content of several vegetables and their antioxidant activity. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, p. 561–566, 2000.

CYBULSKA, J.; ZDUNEK, A.; KOZIO, A. The self-assembled network and physiological degradation of pectins in carrot cell walls. **Food Hydrocolloids**, v. 43, p. 41-50, 2015.

DISCHE, Z. General color reactions. In: WHISTLER, R.L.; WOLFRAM, M.L. **Carbohydrate chemistry**. New York: Academic, 1962, p. 477-512.

EMMAMBUX, N. M.; MINNAAR, A. The effect of edible coatings and polymeric packaging films on the quality of minimally processed carrots. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 83, p. 1065–1071, 2003.

FERREIRA, D. F. **Sistemas para Análise de Variância para Dados (SISVAR)**. Lavras: UFLA, 1999.

HABIBI, O. J.; LUCIA, Y.; ROJAS, L. A. Cellulose Nanocrystals: Chemistry, Self-Assembly, and Applications. **Chemical Reviews**, v. 110, p. 3479–3500, 2010.

GALDON, B. R.; RODRIGUEZ, C. T.; RODRIGUEZ, E. R.; ROMERO, C. D. Organic acid contents in onion cultivars (*Allium cepa* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 56, n. 15, p. 6512–6519, 2008.

GANGLIARDI, J. V.; KARNS, J. S. Leaching of *Escherichia coli* 0157: H7 in diverse soils under various agricultural management practices. **Applied and Environmental Microbiology**, Washington, v. 66, n. 3, p. 877-883, mar. 2000.

GUIMARÃES, I.C., REIS, K.C.dos, MENEZES, E.G.T., BORGES, P.S., RODRIGUE, A.C., LEAL, R., HERANDES, T., CARVALHO, E.H.N.de, VILAS BOAS, E.V.de B. Combined effect of Starch/montmorillonite coating and passive MAP in antioxidant activity, total phenolics, organic acids and volatile of fresh-cut carrots. **International Journal of Food Science and Nutrition**, p. 1-12, fev. 2016.

GUIMARÃES JR., M., BOTARO, V.R., NOVACK, K.M., TEIXEIRA, F.G., TONOLI, G.H.D. Starch/PVA-based nanocomposites reinforced with bamboo nanofibrils. **International Crops and Products**, v. 70, p. 72-83, mar. 2015.

HOWARD, L.R., GRIFFIN, L.E. Lignin formation and surface discoloration of minimally mprocessed carrot sticks. **Journal of Food Science**, v. 58, p. 1065–1067, 1993.

HUXSOLL, C. C., BOLIN, H. R. Processing and distribution alternatives for minimally processed fruits and vegetables. **Food Technology**. 1989. p. 124-128.

INTERNATIONAL COMMISSION ON MICROBIOLOGICAL SPECIFICATIONS FOR FOODS – ICMSF. **Microorganisms in foods**. 2. ed. Toronto: University of Toronto, 1982. 436 p.

IZUMI, H.; WATADA, A.E.; KO, N.P.; DOUGLAS, W. Controlled atmosphere storage of carrots slices, sticks and shreds. **Postharvest Biology and Technology**, v. 9, n. 2, p. 165-172, 1996.

KADER, A. A. Flavor quality of fruits and vegetables. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 88, n. 11, p. 1863–1868, 2008.

KATO-NOGUSHI, H., WATADA, A. E. Citric acid reduces the respiration of fresh-cut carrots. **HortScience**, v. 32, n. 1, p. 136, 1997.

KLAIBER, R.G., BAUR, S., KOBLO, A., CARLE, R. Influence of washing treatment and storage atmosphere on phenylalanine ammonia-lyase activity and phenolic acid content of minimally processed carrot sticks. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, n. 4, p. 1065–1072, 2005.

KE, D.; SALTVEIT, M. E. Plant hormone interaction and phenolic metabolism in the regulation of russet spotting in iceberg lettuce. **Plant Physiology**, v. 88, p. 1136–1140, 1988.

KENNY, O.; O'BEIRNE, D. Antioxidant phytochemicals in fresh-cut carrot disks as affected by peeling method. **Postharvest Biology and Technology**, v. 58, p. 247–253, 2010.

KREUTZMANN, S., CHRISTENSEN, L.P., EDELENBOS, M. Investigation of bitterness in carrots (*Daucus carota* L.) based on quantitative chemical and sensory analyses. **Food Science and Technology**, v. 41, n. 2, p. 193–205, 2008.

KROCHTA, J. M.; De MULDER-JOHNSON, C. M. Edible and biodegradable polymer films: Challenges and opportunities. **Food Technology**, v. 51, p. 61-74, 1997.

KUROSAKI, F; TOKITOH, Y.; NISHI, A. Purification and characterization of wall-bound  $\beta$ -1,3-glucanases in cultured carrot cells. **Plant Science**, v. 77, p. 21-28, 1991.

KUROSAKI, F; TOKITOH, Y.; NISHI, A. Interaction of extracellular  $\beta$ -1,3-glucanase and pectic substances in cell wall matrix of cultured carrot. **Plant Science**, v. 84, p. 75-82, 1992.

LANA, M.M. Aspectos da fisiologia de cenoura minimamente processada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 154-158, nov. 2000.

LAFUENTE, M.A., LOPEZ-GALVEZ, G., CANTWELL, M., FA YANG, S. Factors influencing ethylene-induced isocoumarin formation and increased respiration in carrots. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 121, n. 3, p. 537-542, 1996.

LAI, T. Y.; CHEN, C. H.; LAI, L. S. Effects of Tapioca Starch/Decolorized Hsian-Tsao Leaf Gum-Based Active Coatings on the Quality of Minimally Processed Carrots. **Food Bioprocess Technology**, v. 6, p. 249-258, 2013.

LIMA, K. S. C.; LIMA, A. L. S.; FREITAS, L. C.; DELLA-MODESTA, R. C.; GODOY, R. L. E. Efeito de baixas doses de irradiação nos carotenoides majoritários em cenouras prontas para o consumo. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 2, p. 183-193, abr./jun, 2004.

MIHINDUKULASURIYA, S. D. F.; LIM, L.-T. Nanotechnology development in food packaging: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 40, p. 149-167, 2014.

MEDINA, P. V. L. Manejo pós-colheita de pimentões e pimentas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 10, n. 113, p. 72-76, maio 1984.

McCREADY, P. M.; McCOMB, E. A. Extration and determination of total pectic material. **Analytical Chemistry**, Washington, x. 24, n. 12, p. 1586-1588, 1952.



McGUIRE, R. G. Reporting of Objective Color Measurements. **HortScience**, v. 27, p. 1254-1255, 1992.

PILON, L. **Estabelecimento da vida útil de hortaliças minimamente processadas sob atmosfera modificada e refrigeração. 2003.** 111 f. Dissertação (Mestrado em Ciências)-Escola Superior da Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

PROGRAMA BRASILEIRO DE MODERNIZAÇÃO DO MERCADO HORTIGRANJEIRO. Disponível em: <http://dw.prohort.conab.gov.br/pentaho/Pivot>. Acesso em: 01/09/2015.

RAGAERT, P.; DEVLIEGHERE, F.; DEBEVERE, J. Role of microbiological and physiological spoilage mechanisms during storage of minimally processed vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 44, p. 185–194, 2007.

REIS, K. C. DOS; ELIAS, H. H. DE S.; LIMA, L. C. DE O.; SILVA, J. D.; PEREIRA, J. Pepino japonês (*Cucumis sativus* L.) submetido ao tratamento com fécula de mandioca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 3, p. 487-493, maio/jun., 2006.

RESENDE, J. M.; COELHO, A. F. S.; CASTRO, E. C.; SAGGIN JÚNIOR, O. J.; NASCIMENTO, T.; BENEDETTI, B. C. Modificações sensoriais em cenoura minimamente processada e armazenada sob refrigeração. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.1, p. 147-150, jan-mar 2004.

RHIM, J-W; PARK, H-M; HA, C-S. Bio-nanocomposites for food packaging applications. **Progress in Polymer Science**, v. 38, p. 1629– 1652, 2013.

RUFINO, M.S.M.; ALVES, R.E.; MORAIS, S.M.; SAMPAIO, C.G.; PEREZ-JIMENEZ, J.; SAURA-CALIXTO, F.D. Metodologia científica: Determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH. **Comunicado Técnico Embrapa**. SSN 1679 6535, jul 2007, Fortaleza, CE.

SANCHEZ-GARCIA, M. D.; LAGARON, J. M.. On the use of plant cellulose nanowhiskers to enhance the barrier properties of polylactic acid. **Cellulose**, v. 17, p. 987–1004, 2010.

SILVA, N. da; JUNQUIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A.; TANIWAKI, M. H.; SANTOS, R. F. S. dos; GOMES, R. A. R. **Manual de Métodos de Análises Microbiológicas de Alimentos**. 3 ed. São Paulo: Livraria Varela, 2007. 552p.

SIMÕES, A.D.N., TUDELA, J.A., ALLENDE, A., PUSCHMANN, R., GIL, M.I. 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.

SIQUEIRA, A.; BRAS, G.; DUFRESNE, J. Cellulosic bionanocomposites: A review of preparation, properties and applications, **Polymer**, v. 2, p. 728–765, 2010.

SIRÓ, I.; PLACKETT, D. Microfibrillated cellulose and new nanocomposite materials: A review. **Cellulose**, v. 17, p. 459–494, 2010

SPAGNOL, W. A; PARK, K. J.; SIGRIST, J. M. M. Taxa de respiração de cenouras minimamente processadas e armazenadas em diferentes temperaturas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.26, n. 3, p. 550-554, jul.-set. 2006.

STRANGHETTI, M. de P.; SABIO, R. P.; DELEO, J. P. B. Cenoura. **Hortfrut Brasil**, ago/2015. Disponível em:  
<http://www.cepea.esalq.usp.br/hfbrasil/edicoes/148/full.pdf>. Acesso em: 31/08/2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848p.

TALCOTT, S.T., HOWARD, L.R., BRENES, C.H., 2001. Factors contributing to taste and quality of commercially processed strained carrots. **Food Research International**, v. 34, n. 1, p. 31–38, 2001.

TATSUMI, Y.; WATADA, A.E; LING, P.P. Sodium chlorine treatment or waterjet slicing effects on white tissue development os carrot sticks. *J Food Sci.* 58: 6: 1390-1392, 1993.

VICENTINI, N. M.; CASTRO, T. M. R.; CEREDA, M. P. Influência de películas de fécula de mandioca na qualidade pós-colheita de frutos de pimentão (*Capsicum annuum* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 127-130, jan./fev. 1999.

VINÃ, S. Z.; CHAVES, A. R. Antioxidant responses in minimally processed celery during refrigerated storage. **Food Chemistry**, v. 94, p. 68–74, 2006.

WATERHOUSE, A. L. **Polyphenolics: determination of total phenolics**. In: WROLSTAD, R. E. (Ed.). *Current protocols in food analytical chemistry*. New York: J. Wiley, 2002. p. 111-118.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Agência Federal Brasileira de Apoio e Avaliação da Educação Superior (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES), o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq) e A Fundação de Pesquisa de Minas Gerais (Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de Minas Gerais - FAPEMIG), pelo apoio financeiro.