

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

THIAGO SILVA NOVAIS

**INCORPORAÇÃO DE FERRO ATRAVÉS DO MÉTODO DE IMPREGNAÇÃO A
VÁCUO EM CENOURA (*Daucus carota* L.) MINIMAMENTE PROCESSADA**

PALMAS – TO

2016

THIAGO SILVA NOVAIS

**INCORPORAÇÃO DE FERRO ATRAVÉS DO MÉTODO DE IMPREGNAÇÃO A
VÁCUO EM CENOURA (*Daucus carota* L.) MINIMAMENTE PROCESSADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Abraham Damian Giraldo Zuniga. Co-orientador: Prof. Dr. Afonso Mota Ramos

Linha de Pesquisa: Desenvolvimento de novos produtos.

PALMAS – TO

2016

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me guiado e me dado forças em todos os momentos que necessitei. Agradeço aos meus pais, Joelma e Ranier, pela confiança e pelo amor incondicional.

À Universidade Federal do Tocantins pela oportunidade da realização do mestrado.

Agradeço ao meu orientador de longa data, professor Abraham Damian Giraldo Zuniga, pelo apoio e pelos ensinamentos o qual me proporcionou, agradeço pela amizade e principalmente por me mostrar sempre novos caminhos e novas escolhas.

Ao meu coorientador, professor Afonso Mota Ramos, por ter me acolhido em Viçosa-MG e pela confiança em mim depositada.

Agradeço aos professores do Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Tocantins, pelo conhecimento transmitido e por contribuir para minha formação.

Agradeço a Marcela por toda a ajuda na realização deste estudo, pelos conselhos e pela amizade.

Agradeço aos amigos Jânio Carlos e Marinna Rafaella pela amizade e por sempre me apoiarem nessa minha jornada.

Agradeço a Bianca e ao Gelson pela ajuda na realização dos experimentos deste estudo.

Agradeço aos amigos que conheci em Viçosa, Spadetto, Leandro, Arleu, Ícaro, Rafael, Júlia, Gabriela, Giovanna, obrigado pelo apoio que vocês me deram.

Agradeço aos amigos Francine, Romaildo e Catiara, pelo companherismo, mesmo estando longe.

Agradeço as meninas do laboratório de frutas, hortaliças, tecnologia e ciência, Daniela, Aline, Patrícia, Paloma, Bruna e Zoila pelo apoio e pela boa convivência no laboratório.

Agradeço a Bruna do laboratório de panificação, pela ajuda em algumas análises.

Agradeço ao Professor Juraci e a Professora Edimar, pela ajuda em algumas análises.

Agradeço a Capes pela concessão da bolsa de estudos.

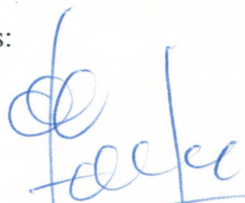
Agradeço a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho e para o meu crescimento profissional e pessoal.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

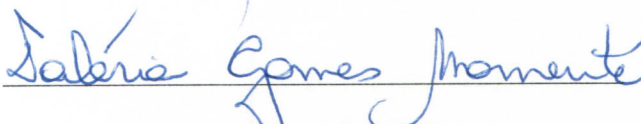
THIAGO SILVA NOVAIS

**INCORPORAÇÃO DE FERRO ATRAVÉS DO MÉTODO DE IMPREGNAÇÃO A VÁCUO
EM CENOURA (*Daucus carota* L.) MINIMAMENTE PROCESSADA**

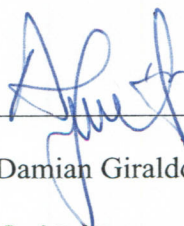
Dissertação DEFENDIDA e APROVADA em 30 de novembro de 2016, pela Banca Examinadora constituída pelos membros:



Prof. Dr. Aroldo Arévalo Pinedo



Prof. Dr. Valéria Gomes Momenté



Prof. Dr. Abraham Damian Giraldo Zuniga (Orientador)

Prof. Dr. Abraham D. G. Zuniga
Universidade Federal do Tocantins
Curso de Engenharia de Alimentos
Mat. 014127296

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	13
2.1 Objetivo Geral.....	13
2.2 Objetivos Específicos.....	13
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	14
3.1 Cenoura.....	14
3.2 Vegetais Minimamente Processados.....	15
3.3 Ferro.....	16
3.4 Impregnação à Vácuo.....	17
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1 Matéria – Prima.....	21
4.2 Processamento Mínimo.....	21
4.3 Preparo da Solução Impregnante.....	21
4.4 Delineamento experimental.....	22
4.5 Determinação do Tempo de Impregnação a Vácuo (IV) e Restauração.....	23
4.6 Determinação da Concentração de Pirofosfato Férrico (FePP).....	23
4.7 Impregnação a Vácuo.....	24
4.8 Análises físico-químicas.....	24
4.8.1 Determinação da Cor.....	25
4.8.2 Determinação da textura e perda de massa.....	25
4.8.3 Avaliação da Incorporação de ferro após o processo de impregnação a vácuo.....	26
4.8.4 Potencial hidrogênionico (pH).....	26
4.8.5 Acidez total titulável (ATT).....	26
4.8.6 Sólidos solúveis totais (SST).....	26
4.8.7 Determinação de Carotenoides Totais.....	27
4.8.8 Análise de Ferro.....	27
4.8.9 Cozimento.....	28
4.9 Determinação das características microbiológicas.....	28

4.10 Análise estatística.....	29
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	30
5.1 Determinação do tempo de impregnação a vácuo (IV) e restauração de ferro em cenouras minimamente processadas.....	30
5.2 Determinação da concentração de Pirofosfato Férrico (FePP) para utilização na impregnação a vácuo (IV) em cenouras minimamente processadas.....	32
5.3 Determinação das características físico-químicas.....	32
5.3.1 Avaliação da cor das cenouras minimamente processadas adicionadas de ferro por IV.....	32
5.3.2 Determinação de textura e perda de massa da cenoura minimamente processada adicionada de ferro por impregnação a vácuo.....	41
5.3.3 Avaliação da incorporação de pirofosfato férrico (FePP) pelo processo de impregnação a vácuo.....	43
5.3.4 Determinação de pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e carotenoides em cenoura minimamente processada adicionado de pirofosfato férrico (FePP).....	46
5.4 Avaliação do teor de ferro das cenouras minimamente processadas submetidas a impregnação a vácuo e seus controles e efeito do cozimento sobre o conteúdo de ferro.....	48
5.5 Determinação das características microbiológicas.....	51
6 CONCLUSÕES.....	54
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Demonstração do processo de impregnação à vácuo. Adaptado de Fito (1994).....	18
Figura 2 - Esquemática do experimento.....	22
Figura 3 - Equipamento utilizado para o processo de Impregnação a Vácuo.....	24
Figura 4 - Cenouras embaladas em bandejas de PET.....	24
Figura 5 - Variação da coordenada L* ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2). CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.....	34
Figura 6 - Variação da coordenada a* ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2). CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.....	36
Figura 7 - Variação da coordenada b* ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2). CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.....	37
Figura 8 - Variação do Índice Chroma (c*) ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2). CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.....	38
Figura 9 - Variação do Ângulo Hue (H°) ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2). CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.....	40
Figura 10 - Textura (N) das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2) ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C. CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.....	41
Figura 11 - Perda de massa (%) ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2). CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.....	43
Figura 12 - Sólidos Solúveis Totais (SST) ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela. CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Alimentos fortificados com diferentes fontes de ferro.....	16
Tabela 2- Estudos com o método de impregnação a vácuo aplicado em matrizes vegetais.....	19
Tabela 3- Índice de Incorporação e textura das cenouras minimamente processadas submetidas a diferentes tempos de impregnação a vácuo.....	30
Tabela 4- Índice de Incorporação e textura das cenouras minimamente processadas submetidas a diferentes tempos de restauração a vácuo.....	31
Tabela 5- Teor de ferro das cenouras minimamente processadas submetidas a diferentes concentrações de solução de pirofosfato férrico.....	32
Tabela 6- Médias dos parâmetros de cor da cenoura minimamente processada (Rodela) dos tratamentos controle e incorporado com ferro através da IV armazenados por 12 dias a 7 °c.....	33
Tabela 7- Médias dos parâmetros de cor da cenoura minimamente processada (Palito) dos tratamentos controle e incorporado com ferro através da IV e armazenados por 12 dias a 7 °c.....	33
Tabela 8- Médias do índice de incorporação (%) da solução de pirofosfato férrico e de água desmineralizada nas cenouras minimamente processadas no corte tipo rodela.....	45
Tabela 9- Médias do índice de incorporação (%) da solução de pirofosfato férrico e de água desmineralizada nas cenouras minimamente processadas no corte tipo palito.....	45
Tabela 10- Médias das características físicas e químicas (sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez total titulável (ATT) e carotenoides) dos tratamentos das cenouras minimamente processadas do corte tipo rodela.....	46
Tabela 11- Médias das características físicas e químicas (sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez total titulável (ATT) e carotenoides) dos tratamentos das cenouras minimamente processadas do corte tipo palito.....	46
Tabela 12- Teor de ferro (mg/100g) das cenouras minimamente processadas submetidas a impregnação a vácuo e seus controles.....	48
Tabela 13- Teor de ferro (mg/100g) das cenouras minimamente processadas submetidas a impregnação a vácuo e seus controles.....	49

Tabela 14- Teor de ferro (mg/100g) das cenouras minimamente processadas submetidas a impregnação a vácuo e seus controles após cozimento.....	50
Tabela 15- Teor de ferro (mg/100g) das cenouras minimamente processadas submetidas a impregnação a vácuo e seus controles após cozimento.....	50
Tabela 16- Contagem de microrganismos psicrotróficos (Log UFC/g) das cenouras minimamente processadas adicionada de ferro por IV e tratamentos controle.....	52
Tabela 17- Contagem de bolor e levedura (Log UFC/g) das cenouras minimamente processadas adicionada de ferro por IV e tratamentos controle.....	52
Tabela 18- Contagem de microrganismos mesófilos (Log UFC/g) das cenouras minimamente processadas adicionada de ferro por IV e tratamentos controle.....	53

RESUMO

NOVAIS, Thiago Silva, M.Sc., Universidade Federal do Tocantins, Novembro de 2016. **Incorporação de ferro através do método de impregnação a vácuo em cenoura (*Daucus carota* L.) minimamente processada.** Orientador: Abraham Damian Giraldo Zuniga. Coorientador: Afonso Mota Ramos.

Os consumidores estão cada vez mais atentos aos aspectos nutricionais dos produtos alimentícios. A procura de alimentos que proporcionam uma promoção ou manutenção da saúde, tais como produtos fortificados têm se intensificado. Em virtude disso, o objetivo deste estudo foi avaliar a viabilidade da incorporação de ferro através do método de impregnação à vácuo (IV) em cenoura minimamente processada, afim de produzir um alimento com alto teor de ferro. As cenouras foram minimamente processadas em dois tipos de cortes (rodela e palito). O tempo de impregnação a vácuo (10, 20, 30 e 40 minutos) e da restauração da pressão atmosférica (30, 40, 50 e 60 minutos) foi determinado avaliando-se o índice de incorporação e a textura do produto. O uso de diferentes concentrações de pirofosfato férrico (0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 g/100g) também foi avaliado. Após a determinação da concentração e dos tempos de vácuo e restauração, as cenouras foram impregnadas sob uma pressão de vácuo de 500 mmHg, utilizando como controles as amostras in natura (CIN) sem processo de IV e submetidas a IV com água desmineralizada. Os produtos foram armazenados a 7 °C por 12 dias e submetidos as análises de pH, acidez, sólidos solúveis totais (SST), carotenoides, cor, índice de incorporação, firmeza, perda de massa, contagem de microrganismos aeróbios mesófilos, psicrotróficos, salmonella e bolores e leveduras, a cada 3 dias de armazenamento. O tempo de impregnação não influenciou a textura e o índice de incorporação das cenouras minimamente processadas, sendo definido o tempo de 10 minutos para a etapa de vácuo em ambos os cortes, e 40 e 50 minutos para a etapa de restauração da pressão atmosférica nos cortes rodela e palito, respectivamente. Foi estabelecida a concentração de 0,3g/100g de pirofosfato férrico. Não foi constatada diferença significativa ($p>0,05$) para os parâmetros de cor avaliados em nenhum dos tratamentos analisados em ambos os cortes das cenouras minimamente processadas. O tempo de armazenamento influenciou significativamente ($p<0,05$) os parâmetro de cor b^* , c^* , h° em ambos os cortes, enquanto que as coordenadas L^* e a^* foram significativamente influenciadas ($p<0,05$) somente nos tratamentos do corte tipo rodela. O tempo de armazenamento também apresentou influência ($p<0,05$) sobre a textura e perda de massa de ambos os cortes, enquanto

que somente no corte tipo rodela houve um efeito significativo do tempo ($p < 0,05$) para os sólidos solúveis totais. O teor de carotenoides não apresentou degradação significativa ($p > 0,05$) ao longo do armazenamento em nenhum dos cortes. O processo de impregnação a vácuo proporcionou um aumento de 7,36 e 8,94 vezes da concentração de ferro nos cortes tipo rodela e palito, respectivamente, quando comparado com as amostras in natura. As cenouras fortificadas apresentaram um teor de ferro que fornecem, em média, 30% da recomendação diária para os grupos avaliados. O cozimento a vapor das cenouras proporcionou uma redução do conteúdo de ferro em todos os tratamentos. Entretanto, o corte tipo palito, mesmo após o cozimento apresentou um teor de ferro elevado podendo, assim ser considerado como fortificado. As cenouras apresentaram ausência de salmonella, baixas contagens de bolores e leveduras, psicrotróficos, mesófilos, mantendo-se dentro dos limites preconizados. Diante do exposto, as cenouras minimamente processadas adicionadas de ferro podem ser uma alternativa para o consumo de alimentos fortificados.

ABSTRACT

NOVAIS, Thiago Silva, M.Sc., Universidade Federal do Tocantins, Novembro de 2016. **Incorporation of iron through the vacuum impregnation method in carrot (*Daucus carota* L.) minimally processed.** Adviser: Abraham Damian Giraldo Zuniga. Co-orientator: Afonso Mota Ramos.

Consumers are increasingly aware of the nutritional aspects of food products. The demand for foods that provide a promotion or maintenance of health such as fortified products have intensified. Therefore, the objective of this study was to evaluate the viability of iron incorporation through the vacuum impregnation (IV) method in minimally processed carrots in order to produce a high iron food. The carrots were minimally processed in two types of cuts (slice and toothpick). The vacuum impregnation time (10, 20, 30 and 40 minutes) and the atmospheric pressure restoration (30, 40, 50 and 60 minutes) was determined by evaluating the incorporation index and the texture of the product. The use of different concentrations of ferric pyrophosphate (0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 g/100g) was also evaluated. After determination of the concentration and the vacuum and restoration times, the carrots were impregnated under a vacuum pressure of 500 mmHg, using as in controls the in natura samples (CIN) without IV process and submitted to IV with demineralized water. The products were stored at 7 °C for 12 days and analyzed for pH, acidity, total soluble solids (TSS), carotenoids, color, incorporation index, firmness, mass loss, count of aerobic mesophilic microorganisms, psychrotrophic, salmonella and Mold and yeast, every 3 days of storage. The impregnation time did not influence the texture and the incorporation index of the carrots minimally processed, being defined the time of 10 minutes for the stage of vacuum in both cuts, and 40 and 50 minutes for the step of restoring the atmospheric pressure in the cuts Buckle and toothpick, respectively. The concentration of 0.3 g / 100 g of ferric pyrophosphate was established. There was no significant difference ($p > 0.05$) for the color parameters evaluated in any of the treatments analyzed in both cuts of the minimally processed carrots. The time of storage significantly influenced ($p < 0.05$) the parameters of color b^* , c^* , h° in both cuts, whereas the coordinates L^* and a^* were significantly influenced ($p < 0.05$) only in the Cut bite treatments. The storage time also had influence ($p < 0.05$) on the texture and mass loss of both cuts, whereas only in the slice cut there was a significant effect of the time ($p < 0.05$) for the soluble solids Total. The carotenoid content

did not show significant degradation ($p > 0.05$) throughout the storage in any of the cuts. The vacuum impregnation process provided a 7.36 and 8.94-fold increase in iron concentration in the slice-and-stick cuts, respectively, when compared to the in natura samples. Fortified carrots had an iron content that provided, on average, 30% of the daily recommendation for the groups evaluated. Steam cooking of the carrots provided a reduction of iron content in all treatments. However, the toothpick cut, even after cooking, had a high iron content and could therefore be considered as fortified. The carrots showed absence of salmonella, low counts of molds and yeasts, psychrotrophic, mesophiles, remained within the recommended limits. In view of the above, minimally processed carrots added with iron may be an alternative for the consumption of fortified foods.

1 INTRODUÇÃO

O ferro é um micromineral que possui funções essenciais para a manutenção de diversas atividades metabólicas, onde enquadram-se o transporte de oxigênio e dióxido de carbono, essenciais à respiração celular aeróbica, produção de energia, formação normal do sangue, sistema imunológico, produção de enzimas, dentre outros (CARVALHO et al., 2006; FISBERG et al., 2008).

A deficiência de ferro no organismo acarreta na anemia, enfermidade que atinge bilhões de pessoas em todo o mundo, sendo que crianças, mulheres que estejam em idade reprodutiva, grávidas e lactantes são as mais afetadas. Complicações no parto, desenvolvimento retardado e desequilíbrio do sistema imune são algumas das consequências geradas por este distúrbio. A insuficiência deste mineral está associada com dietas não balanceadas, uma vez que o consumo de alimentos é uma das principais formas de sua absorção (SCHUMANN et al., 2007; WHO, 2015).

O uso de alimentos fortificados é evidenciado na literatura como uma estratégia para o combate a deficiência de ferro. Diversos países adotaram programas de prevenção desta doença utilizando-se este método, dentre eles o Brasil, a exemplo da Resolução RDC nº 344 de 13 de dezembro de 2002, o qual estabelece que todas as farinha de trigo e milho devem conter em sua formulação 4,2 miligramas de ferro a cada 100 gramas de farinha, visando um aumento do teor deste em subprodutos tais como macarrão, mistura para bolos, pães e salgadinhos.

A fortificação de alimentos que possuem uma matriz vegetal também têm se intensificado. O consumo de vegetais tem aumentado ao longo dos anos, dado que consumidores estão se atentando mais aos aspectos nutricionais do produto, a relação entre dieta e saúde associados com a funcionalidade do alimento, além de fatores como frescor, inovação e preservação das características sensoriais próprias vêm cativando um numero maior de pessoas. Os vegetais, em geral, são uma ótima fonte de vitaminas, minerais e fibras, o que desperta o interesse dos consumidores mais exigentes quanto ao valor nutricional que os produtos podem lhe oferecer e os benefícios destes para o bem estar e a prevenção de doenças. Os alimentos fortificados são alguns dos produtos que atendem a essa necessidade.

Os vegetais minimamente processados surgiram no mercado para atender esta demanda uma vez que possuem os atributos necessários exigidos por este público-alvo. São definidos

como alimentos que sofreram transformações físicas, como corte, descascamento e trituração, mas que mantêm-se em um estado fresco e metabolicamente ativo (MORETTI, 2007). Etapas como seleção, enxague, sanitização, armazenamento e refrigeração são fundamentais para a sanidade destes produtos.

Diversos estudos com frutas e hortaliças minimamente processadas, tais como maçã, pêra, melão, goiaba, abóbora, mamão, couve, mandioquinha, são evidenciados na literatura. Dentre as hortaliças, a cenoura vêm ganhando bastante espaço neste meio, em virtude do seu valor nutricional, uma vez que esta é rica em antioxidantes naturais e carotenoides, além de outros componentes funcionais com propriedades significativas para a promoção da saúde.

A tecnologia de impregnação a vácuo tem se mostrado bastante eficiente em termos de incorporação de nutrientes em matrizes porosas. O uso de gradientes de pressão aceleram o processo sem alterar significativamente o alimento. O emprego desta metodologia pode ser evidenciado em diversos estudos com frutas e hortaliças, na incorporação de vitaminas, probióticos e sais minerais (RODRIGUES, 2013; LIMA, 2014; OLIVEIRA, 2014).

Com base no exposto o estudo em questão teve como objetivo o desenvolvimento de uma cenoura minimamente processada enriquecido com ferro através do processo de impregnação a vácuo, bem como avaliar a suas características físico-químicas, microbiológicas e ainda a influência do cozimento sobre o conteúdo de ferro impregnado pelo processo de vácuo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade da incorporação de ferro através do método de impregnação à vácuo em cenoura (*Daucus carota* L) minimamente processada, afim de produzir um alimento fortificado.

2.2 Objetivos Específicos

- Estudar a incorporação de ferro mediante o método de impregnação a vácuo na cenoura minimamente processada, em dois diferentes tipos de corte, utilizando soluções com diferentes concentrações de pirofosfato férrico;
- Avaliar a influência do tempo de vácuo e tempo de restauro da pressão atmosférica durante a impregnação a vácuo sobre as cenouras minimamente processadas;
- Determinar as características físicas e químicas (pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e carotenoides) das cenouras minimamente processadas adicionadas de ferro por impregnação a vácuo, ao longo do período de armazenamento;
- Avaliar a influência da impregnação a vácuo sobre as características de cor e textura da cenoura minimamente processada;
- Determinar a qualidade microbiológica da cenoura minimamente processada adicionado de ferro por impregnação a vácuo no período de armazenamento de doze dias a 7°C;
- Avaliar o efeito do cozimento e do armazenamento sobre o conteúdo de ferro, impregnado a vácuo, da cenoura minimamente processada.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Cenoura

A cenoura (*Daucus carota* L.) é a espécie olerícola que possui maior importância econômica dentro da família Apiaceae. O centro primário desta hortaliça é o Afeganistão, por possuir a maior variedade de tipos silvestres em seu território. O sudoeste da Ásia e o Mediterrâneo oriental são considerados o centro secundário e a região de domesticação da planta. O nome cenoura, também designa a raiz desta planta, que é tuberosa, carnuda, lisa, reta e sem ramificações, possui um formato cilíndrico com uma textura lenhosa e comestível (FILGUEIRA, 2008; NICK e BOREM, 2016). A principal função desse tipo de raiz é o acúmulo de reservas de nutrientes, sendo muito utilizada na alimentação humana (GUIMARÃES, 2016).

Com relação aos aspectos nutricionais, a cenoura se destaca por possuir grande quantidade de vitamina C, vitamina E, tiamina, riboflavina, fibras dietéticas, antioxidantes, minerais como potássio, fósforo, cálcio e magnésio, além de β -caroteno, sendo este responsável pela cor alaranjada característica do vegetal (NICK e BOREM, 2016). O β -caroteno, presente na cenoura, corresponde a cerca de 45-70% dos carotenóides totais e é responsável por uma grande variedade de efeitos benéficos para a saúde humana (FARIÑA et al., 2007).

Sharma et al (2012) afirma que o consumo de cenoura e dos seus derivados têm aumentado, devido ao reconhecimento desta raiz como uma importante fonte de antioxidantes naturais que possuem uma atividade anticancerígena, além de outros componentes funcionais com propriedades significativas para a promoção da saúde.

A cenoura constitui uma das principais hortaliças cultivadas em todo o mundo e possui uma grande importância econômica. Segundo dados da FAO (2016), a produção de cenoura no mundo em 2013, foi de aproximadamente 37 milhões e 244 mil toneladas, sendo a China o maior produtor mundial, seguida do Uzbequistão. No Brasil, a cenoura é a quinta olerícola mais cultivada em ordem de importância econômica, tendo uma área média anual colhida de 27 mil hectares e uma produção de 760 mil toneladas, tendo como os principais estados produtores Minas Gerais e Bahia (MAROUELLI et al., 2007). Posiciona-se como um importante produto do agronegócio no Brasil, principalmente por apresentar elevada capacidade de geração de emprego e renda em todos os segmentos de sua cadeia produtiva durante o ano inteiro.

Em virtude da sua importância econômica e do seu aspecto nutricional, a cenoura foi

definida como a matriz vegetal deste estudo, visando a sua fortificação com ferro, para atender as necessidades das pessoas que sofrem com a carência deste mineral, bem como os consumidores que visam uma alimentação mais saudável.

3.2 Vegetais Minimamente Processados

O estilo de vida dos consumidores vêm mudando no decorrer dos anos, uma vez que a substituição de produtos industrializados por produtos com um apelo nutricional mais saudável, tais como frutas e hortaliças frescas, têm se intensificado. A conscientização por parte dos consumidores a respeito dos benefícios ofertados por estes alimentos abriu portas para a comercialização dos chamados produtos minimamente processados (PRADO et al., 2004; RODRIGUES, 2005).

“Fresh-cut produce” ou Produtos minimamente processados são definidos como quaisquer produtos de origem vegetal que tenham passado por transformações físicas, ou seja, foram descascados, lavados, picados, aparados, torneados, ralados dentre outros processos mas que mantêm-se em um estado fresco e metabolicamente ativo (MORETTI, 2007; IFPA, 2015). O intuito destes produtos é oferecer aos consumidores praticidade associada a excelente qualidade sensorial e alto valor nutritivo.

As frutas e hortaliças são os alimentos que mais agregam valor através do processamento mínimo podendo ser encontrados na forma de “mix”, ou seja, junção de vários tipos em uma mesma embalagem, a exemplo da pesquisa de Alves et al (2010) onde foram utilizados abóbora, cenoura, chuchu e mandioquinha-salsa para compor um único produto, mas também em embalagens únicas. Batatas (LOVATTO et al., 2012), abacaxis (PRADO et al., 2004), repolho-roxo (GIOPPO et al., 2012) e beterrabas (KLUGE, PICOLI E AGUILA, 2010) são alguns dos produtos minimamente processados disponíveis no mercado.

Apesar dos benefícios ofertados por estes produtos, alguns cuidados devem ser tomados, uma vez que o processamento mínimo causa deformações físicas nos alimentos. As operações de corte e descascamento promovem o rompimento da membrana celular das frutas e hortaliças o que ocasiona uma série de reações bioquímicas aumentando a vulnerabilidade destes produtos à contaminação microbiana, escurecimento enzimático e posteriormente à sua senescência (GUERZONI et al., 1996).

Em virtude destes problemas, algumas etapas do processo merecem um destaque maior. O corte e o descascamento devem ser realizados de uma forma cuidadosa visando preservar ao

máximo o tecido vegetal do alimento. A sanitização deve ser eficiente, pois reduz a incidência de alguns microrganismos. A refrigeração é uma etapa vital para o prolongamento da vida de prateleira dos vegetais minimamente processados (OLIVEIRA, 2014; IFPA, 2015).

3.3 Ferro

O ferro é um mineral fundamental à vida, atuando na produção de hemoglobina nos precursores de células vermelhas, no transporte de oxigênio para as células do corpo, na síntese de DNA e no metabolismo energético. A sua aquisição pelo organismo ocorre de duas fontes principais: alimentação e da reciclagem de hemácias em senescência (GROTTO, 2008; DOMANSKI et al., 2012).

Embora seja o mineral mais abundante do mundo, sua deficiência no ser humano é um dos quadros mais comuns em termos de carência nutricional. A insuficiência de ferro causa anemia (Iron-deficiency anemia, IDA), problema que atinge principalmente crianças e mulheres grávidas ou que estejam em idade reprodutiva. O aumento dos riscos de partos prematuros ou natimortos, a capacidade de trabalho reduzida, além do desenvolvimento intelectual prejudicado são algumas das consequências provocadas por este distúrbio (SCHUMANN et al., 2007; DOMANSKI et al., 2012).

Segundo a World Health Organization (2015) entre 1995 e 2011 a proporção da população com anemia foi superior a 80% para todos os grupos. O valor estimado em 2011 foi de 273 milhões de crianças, 32 milhões de mulheres grávidas e 496 milhões de mulheres não grávidas que foram afetadas por esta doença globalmente.

Em busca por alternativas no combate a deficiência de ferro muitos países desenvolveram programas de prevenção, no qual o uso de alimentos fortificados mostrou-se bastante eficaz. A Tabela 1 apresenta alguns alimentos enriquecidos com diferentes fontes de ferro.

Tabela 1. Alimentos fortificados com diferentes fontes de ferro.

Matéria – Prima	Fonte de Ferro	Referência
Batata	Pirofosfato Férrico	Hironaka et al (2014)
Barra de Cereal	Sódio Ferro Etileno Diamino Tetracético (NaFeEDTA) Ferro Bisglicina Quelato	Sampaio et al (2010)
Bebida Láctea Fermentada	Ferro Quelato Aminoácido	Oliveira et al (2006)

Maçã	Gluconato de Ferro	Betoret et al (2005)
Pão Tipo Forma	Ferro Reduzido Pirofosfato de Ferro Sulfato Ferroso Monohidratado Microencapsulado	Nabeshima et al (2005)

A legislação brasileira conceitua como alimento fortificado ou enriquecido, aquele ao qual foi adicionado um ou mais nutrientes essenciais contidos naturalmente, ou não, no alimento com o objetivo de reforçar o seu valor nutritivo e/ou prevenir ou corrigir deficiências demonstradas em um ou mais nutrientes, na alimentação da população ou em grupos específicos da mesma. A mesma portaria estabelece que as concentrações do nutriente a ser adicionado sejam equivalentes a 30% da ingestão diária recomendada (IDR) para alimentos sólidos correspondendo a 4,2 mgFe/100 g do alimento pronto para consumo (BRASIL, 1998).

O consumo de alimentos é o principal meio de obtenção de ferro e a quantidade deste mineral absorvida pelo nosso organismo é altamente conservada, possuindo somente algumas perdas que ocorrem a partir das fezes, urina e descamação da pele (FISBERG et al., 2008). O uso de alimentos fortificados com ferro é possível, uma vez que a recomendação diária de ingestão, de acordo com a WHO/FAO, para crianças de 7 a 10 anos, homens adultos e mulheres adultas é de 5.6 , 9.1 e 19.6 mg/dia, respectivamente (SCHUMANN et al., 2007).

3.4 Impregnação à Vácuo

A impregnação à vácuo (IV) é uma técnica utilizada para introduzir fluidos com composições específicas, através de gradientes de pressão, nas matrizes porosas de tecidos vegetais e animais (FITO e PASTOR, 1994; ZHAO e XIE, 2004; RADZIEJEWSKA-KUBZDELA et al, 2014). Os alimentos porosos submetidos a IV são imersos em uma solução sob pressão atmosférica, em seguida submetidos a uma condição de vácuo por determinado período a fim de remover o gás presente nos poros. O processo finaliza com o restabelecimento da pressão inicial, onde ocorre a impregnação do líquido nos espaços intercelulares do alimento devido a combinação do efeito capilar e da diferença de pressão previamente imposta ao sistema (Figura 2) (FITO, 1994; CARCIOFI, 2009).

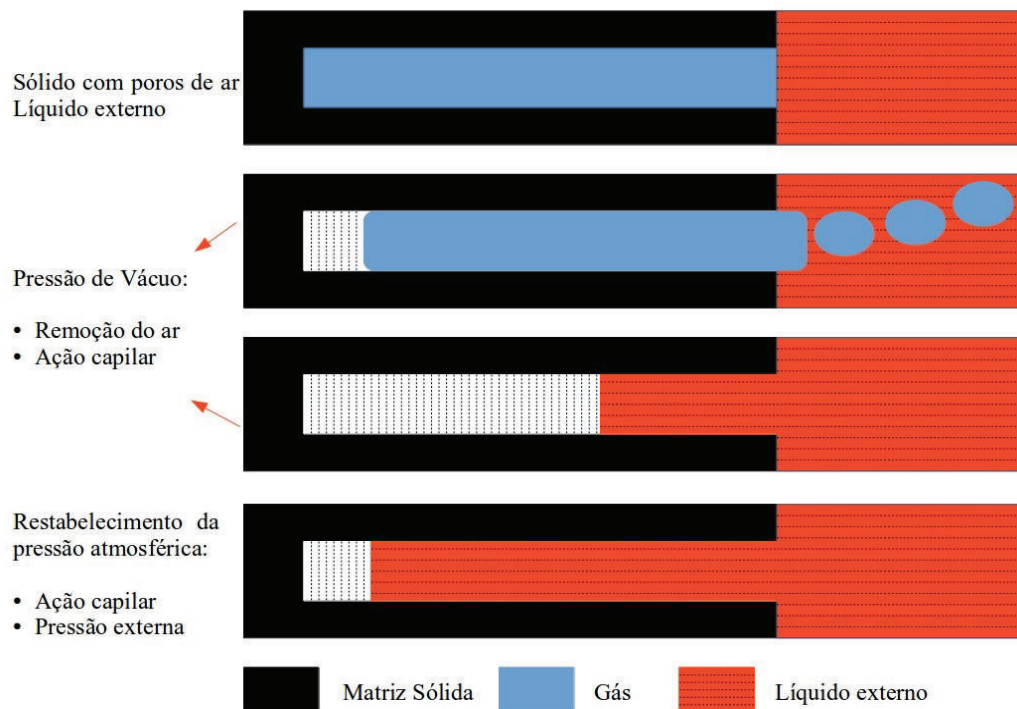


Figura 1. Demonstração do processo de impregnação à vácuo.

Fonte: Adaptado de Fito (1994).

Zhao e Xie (2004), afirmam que aspectos como temperatura, composição e concentração da solução de impregnação a vácuo, tempo, pressão e imersão sob vácuo, tempo de restauro da pressão atmosférica, agitação, e a relação solução/amostra estão associados diretamente com a qualidade dos produtos submetidos ao processo de impregnação a vácuo. Os autores ainda reiteram que qualquer soluto solúvel ou solvente que seja miscível pode ser utilizado como uma solução neste método, entretanto, fatores como a não toxicidade, boas características sensoriais, alta solubilidade e baixo custo devem ser levados em consideração no momento da seleção de uma solução a ser usada na IV.

No processamento de alimentos, a IV tem sido utilizada para incorporar materiais como vitaminas (HIRONAKA et al., 2011; PEREZ-CABRERA et al., 2011), sais minerais (GRAS et al., 2003; HIRONAKA et al., 2014; LIMA, 2014; GAO et al., 2011; OCCHINO et al., 2011), microrganismos probióticos (BETORET et al., 2003; RODRIGUES, 2013; OLIVEIRA, 2014), entre outros compostos (SANZANA et al., 2011; SCHULZE et al., 2012).

A utilização da impregnação a vácuo em matérias-primas de origem animal vêm ganhando espaço, a exemplo da pesquisa realizada por Andrés-Bello et al., (2015) no qual

bactérias do ácido lático e nisina são introduzidas em filés de peixe, através do método, com a finalidade de aumentar a vida de prateleira do produto, entretanto o uso desta tecnologia em matrizes de origens vegetais, tais como frutas e hortaliças são majoritariamente encontrados na literatura. A Tabela 2 demonstra o uso da tecnologia de impregnação a vácuo em algumas matrizes vegetais.

Tabela 2. Estudos com o método de impregnação a vácuo aplicado em matrizes vegetais.

Matriz Vegetal	Solução Impregnante	Objetivo	Referência
Maçã	Soluções isotônicas de sorbitol, glucose, frutose, sacarose, trealose e maltose	Melhoramento da qualidade e estabilidade do produto	Neri et al (2016)
Maçã	Suco de mirtilo	Incorporação de antocianinas	Castagnini et al (2015)
Endívia, couve-flor, brócolis e cenoura	Babosa	Redução da taxa de respiração	Sanzana, Gras e Vidal-Brotóns (2011)
Pêra	Soluções isotônicas contendo compostos anti-branqueamento e lactato de cálcio	Redução do escurecimento enzimático e prolongamento da vida útil do produto	Perez-Cabrera et al (2011)
Batata	Ácido ascórbico	Enriquecimento com ácido ascórbico	Hironaka et al (2011)
Melão	cloreto de cálcio, amido gelatinizado e glicose	Estabilidade estrutural do produto	Reno, Resende e Prado (2010)
Morango	Pectina e cloreto de cálcio	Estabilidade estrutural do produto	Reno, Prado e Resende (2011)
Abacaxi	Pectina e propionato de cálcio	Manutenção da estrutura original do produto	Cruvinel et al (2009)
Aipo e pepino	Cloreto de sódio	Observar a resposta da IV nestes vegetais	Martelo et al (2011)
Espinafre	solução isotônica de trealose	Observar a porosidade do produto	Panarese et al (2016)
Abacaxi	Cálcio	Fortificação	Lima et al (2014)
Cenoura	Quitosana	Prolongamento da vida útil do produto	Vargas et al (2009)

Além de poder atuar na redução de pH de alguns vegetais e acelerar processos que envolvam salga, a técnica de IV pode ser usada a fim de se obter produtos funcionais através do enriquecimento de alimentos com substâncias pré-selecionadas. Um estudo realizado por Hironaka et al., (2014) mostrou o potencial da IV no enriquecimento de ferro em batatas inteiras. O uso desta tecnologia apresenta-se como uma alternativa viável no desenvolvimento de novos produtos alimentícios (FITO e PASTOR, 1994; ZHAO e XIE, 2004).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos deste estudo foram realizados na Planta Piloto de Processamento de Frutas e Hortaliças, no Laboratório de Frutas, Hortaliças, Tecnologia e Ciência de Alimentos (LAFRUTEC) do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA) e no Laboratório de Biologia do Departamento de Biologia Geral (DBG) da Universidade Federal de Viçosa, Campus de Viçosa, Minas Gerais.

4.1 Matéria – Prima

As cenouras da variedade Brasília (*Daucus carota* L.) foram adquiridas no comércio local da cidade de Viçosa, Minas Gerais. As hortaliças foram selecionadas quanto a aparência, coloração, formato, ausência de injúrias físicas, podridões ou quaisquer características que evidenciavam algum grau de deterioração. Estas foram encaminhadas ao Laboratório de Frutas, Hortaliças, Tecnologia e Ciência de Alimentos e armazenadas sob refrigeração (7 °C) até o início do processamento mínimo.

4.2 Processamento Mínimo

As cenouras foram lavadas com água potável a 5 °C para remoção das sujidades provenientes dos locais de colheita, posteriormente, foram sanitizadas com uma solução clorada (Sumaveg®) a 200 mg.L⁻¹ de cloro ativo por um período de 15 minutos a 5 °C. Após a sanitização as hortaliças foram enxaguadas em uma solução clorada a 20 mg.L⁻¹ por 5 minutos, em seguida foram descascadas manualmente e cortadas em rodela de aproximadamente 4 x 2 cm e em palitos de 2 x 7 com o auxílio de facas de aço inoxidável previamente higienizadas.

4.3 Preparo da Solução Impregnante

Para a fortificação da cenoura deste estudo foi utilizado, como fonte de ferro, o Pirofosfato Férrico (Fe₄ (P₂O₇)₃, FePP) com concentração inicial de 0,4g/100g, adquirido da empresa Sigma-Aldrich Brasil Ltda. Este sal é amplamente utilizado na fortificação de alimentos e suplementos nutricionais (TIAN et al., 2016). A não alteração de fatores como a cor e a palatabilidade dos produtos aos quais são adicionados (Navas-Carretero et al., 2009), fazem deste sal uma boa alternativa como agente fortificante no combate a deficiência de ferro.

A solução impregnante de ferro foi preparada diluindo o pirofosfato férrico em água deionizada sob agitação. Uma razão de 1:3 de hortaliça/solução foi utilizada para assegurar a completa imersão da cenoura e evitar mudanças significativas de concentrações na solução

durante a impregnação.

4.4 Delineamento experimental

A Figura 2 representa a metodologia geral do experimento.

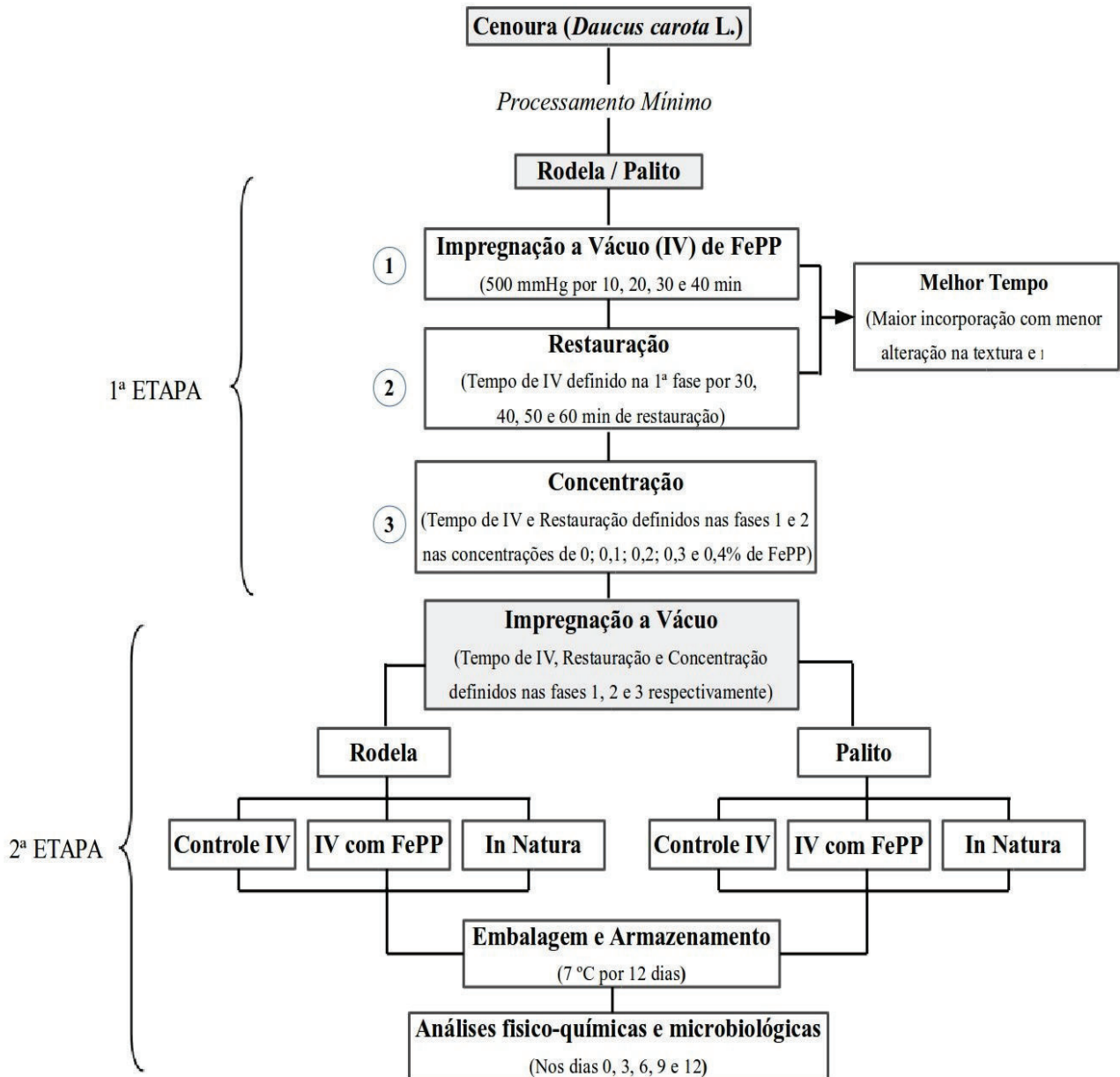


Figura 2. Esquematização do experimento.

No estudo da incorporação de ferro em cenoura minimamente processada através do método de impregnação a vácuo, o delineamento do experimento foi dividido em duas etapas.

A primeira etapa consistiu na determinação dos tempos de impregnação e restauração, além da concentração de pirofosfato férrico a ser utilizada. Para esta etapa foi montado um

delinemaneto inteiramente casualizado (DIC), tendo como tratamentos na primeira fase os diferentes tempos de impregnação (10, 20, 30 e 40 min) a vácuo de 500 mmHg, na segunda fase os diferentes tempos de restauração da pressão atmosférica (30, 40, 50 e 60 min) e na terceira fase as diferentes concentrações de pirofosfato férrico (0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 %).

A segunda etapa consistiu no efeito da impregnação a vácuo em dois tipos de cortes (Rodela e Palito) da cenoura minimamente processada, pelo melhor tempo e concentração definidos na etapa anterior. Para esta etapa também foi montado um delineamento inteiramente casualizado disposto em esquema de parcela subdividida, estando na parcela os três tratamentos (T) sendo eles, cenoura impregnada a vácuo na solução de pirofosfato férrico, cenouras submetidas ao processo de impregnação com água desmineralizada (controle IV) e cenoura in natura sem a impregnação a vácuo e na sub parcela os tempos de armazenamento (TA), (0, 3, 6, 9 e 12 dias), e a interação T*TA.

Todo o experimento foi realizado em três repetições e as análises microbiológicas e físico-químicas em duplicata.

4.5 Determinação do Tempo de Impregnação a Vácuo (IV) e Restauração

As cenouras minimamente processadas (rodela e palitos) foram imersas, separadamente, em béqueres contendo uma solução de pirofosfato férrico com concentração inicial de 0,4g/100g em uma proporção de 1:3 (hortaliça/solução). Esta solução foi submetida a uma pressão de vácuo de 500 mmHg por um período de 10, 20, 30 e 40 minutos. Após o processo de impregnação as amostras foram escorridas e secadas, suavemente, com papel toalha, em seguida foram realizadas análises de textura e índice de incorporação para determinar o melhor tempo de IV.

Após esse tratamento as amostras foram submetidas novamente a IV (com o tempo determinado na fase anterior) a fim de estabelecer o tempo de restauração da pressão atmosférica a ser utilizado no processo. Foram testados quatro períodos, sendo estes 30, 40, 50 e 60 minutos. Também foram adotadas, como critérios de seleção, as análises de textura e índice de incorporação.

4.6 Determinação da Concentração de Pirofosfato Férrico (FePP)

Definido o tempo de impregnação a vácuo e de restauração, as cenouras minimamente processadas foram submetidas ao processo de IV com quatro concentrações diferentes de solução de pirofosfato férrico (0,1; 0,2; 0,3 e 0,4 g/100g), afim de definir a concentração ideal da solução impregnante a ser utilizada no estudo.

4.7 Impregnação a Vácuo

Após o processamento mínimo, as rodelas e palitos das cenouras foram imersas, separadamente, em béqueres de cinco litros contendo a solução de pirofosfato férrico com a concentração de ferro determinada no item 3.6. Os béqueres foram então colocados em uma câmara de vácuo (Figura 4) onde, posteriormente, foram submetidos a uma pressão de vácuo de 500 mmHg pelo tempo de impregnação determinado no item 3.5, em seguida foi restabelecida a pressão atmosférica pelo tempo de restauração selecionado também no item 3.5.

Finalizada a etapa de IV as cenouras foram escorridas e secadas, suavemente, com papel toalha a fim de retirar o excesso de solução na amostra, em seguida foram embaladas em bandejas (Figura 3) de polietileno teraftalato (PET) e armazenadas em incubadoras BOD a 7 °C por um período de 12 dias para acompanhar a vida de prateleira por meio de análises físico-químicas e microbiológicas em três repetições. Foram realizados dois controles, no qual, um foi representado pelas cenouras (rodelas e palitos) in natura sem o processo de IV, e o outro com as cenouras imersas em água desmineralizada e submetidas a IV.

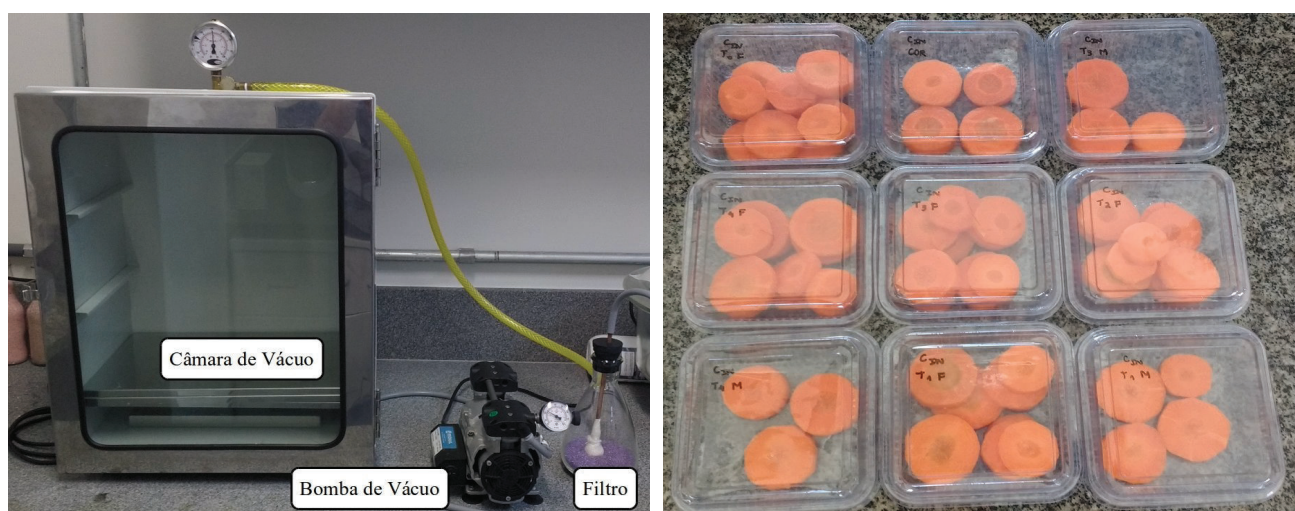


Figura 3. Equipamento utilizado para o processo de Impregnação a Vácuo. **Figura 4.** Cenouras embaladas em bandejas de PET.

4.8 Análises físico-químicas

As análises físico-químicas foram realizadas nos tratamentos adicionados de ferro por IV e nos tratamentos controle (controle impregnado a vácuo e controle in natura) a cada três dias (0, 3, 6, 9 e 12) durante armazenamento do produto.

4.8.1 Determinação da Cor

A cor superficial das cenouras impregnadas com ferro e dos controles foram avaliadas utilizando-se o equipamento Color Reader CR-10 (Minolta). A determinação da cor foi realizada pela leitura direta da reflectância das coordenadas L^* , a^* , b^* empregando a escala CIELAB L^* , adotada como sistema-padrão pelo Comitê Internacional em Iluminação (CIE). A coordenada L^* (luminosidade) possui variação do preto ($L=0$) até o branco ($L=100$), a^* é mensurável em termos de intensidade de vermelho ($+a$) e verde ($-a$), e b^* está relacionada com a intensidade de amarelo ($+b$) e azul ($-b$).

Segundo Gomes e Oliveira (2011), as coordenadas “a” e “b” juntas podem gerar outros parâmetros relacionados à tonalidade e saturação. O Índice de Escurecimento (IE), o Índice de Cor (IC), a Intensidade de Cor ou Croma (c^*) e o ângulo hue (h°) são exemplos destes parâmetros, no qual foram determinados neste estudo segundo Palou et al. (1999), Mazzuz (1996), McGuire (1992) e Rößle et al. (2009), respectivamente, pelas seguintes equações:

$$IC = \frac{1000 \cdot a^*}{L^* \cdot b^*} \quad (1)$$

$$IE = \frac{[100 \cdot (x - 0,31)]}{0,172} \quad \text{em que,} \quad x = \frac{a^* + 1,75 \cdot L^*}{(5,645 \cdot L^*) + a^* - (3,02 \cdot b^*)} \quad (2)$$

$$c^* = \sqrt{[(a^*)^2 + (b^*)^2]} \quad (3)$$

$$h = \arctang \frac{b^*}{a^*} \quad (4)$$

4.8.2 Determinação da textura e perda de massa

A textura das cenouras minimamente processadas adicionadas de ferro e dos tratamentos controle mantidas a 7 °C foram determinadas em um texturômetro TA-TX (Texture Technologies Corp./Stable Microsystems) nos tempos 0, 3, 6, 9 e 12 dias, utilizando uma sonda tipo agulha, de aço inoxidável, P/2N (2 mm de diâmetro), que mediu a força de penetração desta nas amostras, numa velocidade de 10 mm/s e numa distância de penetração de 5 mm (ALVES et al., 2010). As cenouras em rodela e palitos foram perfuradas em 30% da altura original em três pontos diferentes a cada amostra a fim de se obter a média. Os índices de firmeza foram calculados a partir das curvas características do perfil de textura gerado no programa Texture Expert Stable Micro Systems, sendo os resultados expresso em Newton (N).

A perda de massa calculada pela diferença entre a massa inicial dos produtos minimamente processados dentro das embalagens e a obtida em cada intervalo de armazenamento a 7 ° C por meio de pesagem em balança analítica. Os resultados da perda de massa foram expressos em porcentagem.

4.8.3 Avaliação da Incorporação de ferro após o processo de impregnação a vácuo

A incorporação da solução de ferro após a impregnação a vácuo foi determinada por meio de pesagem em balança analítica, estabelecendo-se a relação entre o peso das cenouras antes e após a etapa de impregnação. Os resultados foram expressos em porcentagem e foram determinados pela seguinte equação:

$$IC = \frac{mf - mi}{mf} \cdot 100 \quad (5) \text{ em que:}$$

IC= Índice de Incorporação;

mf = peso (gramas) das cenouras minimamente processadas após a impregnação;

mi= peso (gramas) das cenouras minimamente processadas antes da impregnação.

4.8.4 Potencial hidrogênico (pH)

O pH das cenouras foram determinados segundo a metodologia proposta pelo AOAC (2000). Foram pesados, aproximadamente, 5 gramas da hortaliça triturada, onde esta foi diluída em 100 ml de água destilada, e em seguida, agitada e analisada por leitura direta em um potenciômetro (Tecnopon), previamente calibrado com soluções padrão de pH 4,0 e 7,0.

4.8.5 Acidez total titulável (ATT)

A acidez total titulável foi determinada através da maceração de cerca de 5 gramas das amostras diluídas em 100 ml de água destilada. Foram adicionadas 3 gotas do indicador fenolftaleína ao homogenato, o qual foi titulado, posteriormente, com uma solução padronizada de NaOH 0,1 mol·L⁻¹ (AOAC, 2000) até o ponto de viragem (coloração levemente rósea). A acidez foi calculada em relação ao percentual de ácido cítrico.

4.8.6 Sólidos solúveis totais (SST)

A determinação dos sólidos solúveis totais foi realizada através da leitura direta das amostras, maceradas, em um refratômetro de bancada, modelo ABBÉ, a 25 °C, sendo os resultados expressos em °Brix, de acordo com a AOAC (2000). O refratômetro foi previamente

calibrado com água destilada.

4.8.7 Determinação de Carotenoides Totais

Os carotenoides totais das cenouras foram determinados por análise espectrofotométrica segundo a metodologia proposta por Rodriguez-Amaya (2001) com adaptações. As amostras das cenouras impregnadas com ferro, bem como os tratamentos controle foram trituradas e, em seguida, pesados, aproximadamente, 2 gramas para a realização da análise.

Em cada amostra foram adicionadas 60 mL de acetona refrigerada para a extração dos carotenoides. Em seguida, as amostras foram filtradas e transferidas para um funil de separação onde foram adicionadas 30 ml de éter de petróleo. Água destilada e água destilada com sal foram adicionadas vagarosamente (a fim de evitar a formação de uma emulsão) ao funil para obtenção de duas fases, sendo uma água+acetona e a outra éter+carotenoide. Esta etapa foi repetida 5 vezes para total remoção da acetona. O extrato em éter foi transferido para um béquer contendo sulfato de sódio anidro que, posteriormente, foi filtrado e transferido para um balão volumétrico completando o volume para 50 mL com éter de petróleo. A leitura foi realizada em um espectrofotômetro digital (modelo SP-200, BIOSPECTRO) no comprimento de onda de 450 nm. Foi utilizada a fórmula a seguir para o cálculo de carotenoides totais:

$$CT = \frac{A \cdot V \cdot 10^4}{A_{1cm}^{1\%} \cdot P} \quad (6) \text{ em que,}$$

CT = carotenoides totais ($\mu\text{g/g}$);

A = absorvância da solução no comprimento de onda de 450 nm;

V = volume final da solução (mL);

P = peso da amostra (g);

$A_{1cm}^{1\%}$ = coeficiente de extinção ou coeficiente de absorvidade molar do β -caroteno em éter de petróleo, coeficiente de absorvidade molar de 2592 (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

O resultado foi expresso em microgramas por grama de carotenoides totais expresso em β -caroteno, uma vez que este é o carotenoide em maior concentração na cenoura.

4.8.8 Análise de Ferro

A determinação de ferro foi realizada de acordo com a AOAC (2000) com algumas modificações. As amostras das cenouras impregnadas com ferro, bem como os tratamentos

controle foram triturados e, em seguida, pesados 1 grama em erlenmeyers de 25 ml para a realização da análise. Os erlenmeyers foram encaminhados a uma cabine de exaustão, onde foram adicionados 15 ml de solução nitroperclórica (3+1 v/v) para a realização da digestão. As amostras foram então colocadas em um agitador magnético com temperatura de 120 °C até apresentarem uma aparência translúcida, indicando a completa digestão da matéria orgânica da cenoura. O conteúdo de ferro das cenouras foi determinado em um espectrofotômetro de absorção atômica (AA-6701F, Shimadzu Corporation).

4.8.9 Cozimento

As cenouras impregnadas com ferro, bem como os tratamentos controle foram avaliadas quanto ao efeito do cozimento a vapor sobre o conteúdo de ferro. As amostras (rodela e palitos) foram colocadas em uma panela a vapor e cozidas pelo vapor da água em ebulição, a pressão atmosférica, por um período de 20 minutos. Logo após o cozimento, estas foram analisadas quanto ao teor de ferro conforme o item 3.8.8.

4.9 Determinação das características microbiológicas

Foram realizadas análises de microrganismos psicrotróficos, mesófilos, salmonella, fungos filamentosos e levedura a cada três dias durante o período de armazenamento. A contagem de microrganismos psicrotróficos foi determinada pela metodologia proposta por Cousin, Jay e Vasavada (2001) utilizando-se Agar Padrão para Contagem (PCA) e incubação a 7 °C por 10 dias. Para os microrganismos aeróbios mesófilos foi utilizado o método de Vanderzant e Splittstoesser (2001), realizando-se um plaqueamento em profundidade em Ágar Padrão para Contagem (PCA). As placas foram incubadas em estufa a 37 °C por 48 horas.

Foram selecionadas as placas contendo de 25 a 250 colônias para a contagem dos microrganismos psicrotróficos e mesófilos, no qual foram calculados, posteriormente, o número de unidades formadoras de colônias (UFC) por grama da amostra.

A contagem de fungos filamentosos e leveduras foi realizada utilizando o meio de cultura Agar Batata Dextrose (BDA). A partir de diluições seriadas, 0,1 ml das amostras de cenoura minimamente processadas com ferro e os controles foram plaqueadas e, em seguida, incubadas a 25°C por 5 dias (MATOS et al., 2011).

A análise de salmonella foi realizada de acordo com o Manual Técnico de Diagnóstico Laboratorial da Salmonella spp. (2011), utilizando como pré-enriquecimento o meio Água Peptonada Tamponada (APT), enriquecimento os meios Caldo Selenito Cistina (SC) e Caldo

Rappaport (RV), e Ágar Entérico Hektoen (HE) como meio seletivo indicador. As placas foram incubadas a 25 °C por 24 horas.

4.10 Análise estatística

Os dados obtidos para determinar o tempo de vácuo, o tempo de restauração e a concentração a ser utilizada na primeira etapa foram interpretados por análise de variância (ANOVA) utilizando teste F e teste de Tukey para comparação de médias ao nível de 5 % de probabilidade. Os dados obtidos das análises microbiológicas e físico-químicas foram interpretados por análise de variância (ANOVA) utilizando teste F e teste de Tukey para comparação de médias e análise de regressão ao nível de 5 % de probabilidade. Foi utilizado o programa Statistical Analysis Systems (SAS) licenciado pela Universidade Federal de Viçosa.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Determinação do tempo de impregnação a vácuo (IV) e restauração de ferro em cenouras minimamente processadas

A operação de impregnação a vácuo é realizada em duas etapas após a imersão do produto na solução impregnante. Na primeira, uma pressão de vácuo é imposta ao sistema por um curto período de tempo promovendo assim a expansão e saída do gás interno do produto. A liberação do gás leva o líquido natural do poro do produto com ele. A restauração da pressão atmosférica na câmara de vácuo corresponde ao segundo passo do processo. Nesta etapa ocorre o restabelecimento da pressão inicial do sistema por um determinado tempo e o efeito da compressão conduz a uma grande redução de volume do gás remanescente nos poros e assim ao fluxo subsequente do líquido externo na estrutura porosa (FITO et al., 2001; ZHAO E XIE, 2004)

O tempo de impregnação a vácuo (1ª etapa) foi determinado através das análises de textura e índice de incorporação das cenouras minimamente processadas. De acordo com a Tabela 3, a textura bem como o índice de incorporação não foram afetadas significativamente ($p>0,05$) em nenhum dos cortes das hortaliças minimamente processadas ao longo dos tempos avaliados para a IV.

Tabela 3. Índice de Incorporação e textura das cenouras minimamente processadas submetidas a diferentes tempos de impregnação a vácuo.

		Tempo (minutos)			
		10	20	30	40
Índice de Incorporação (%)	Rodela	7,00 ± 1,98a	6,39 ± 1,20a	5,00 ± 0,47a	5,67 ± 1,32a
	Palito	6,98 ± 2,06a	6,24 ± 1,64a	5,96 ± 0,68a	5,89 ± 0,71a
Textura (N)	Rodela	5,05 ± 0,69a	4,67 ± 0,65a	4,65 ± 0,27a	4,97 ± 0,62a
	Palito	5,05 ± 0,56a	4,24 ± 0,57a	4,45 ± 0,59a	4,74 ± 0,08a

Médias com a mesma letra na linha não são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey.

Os resultados do índice de incorporação podem ser explicados possivelmente devido a estrutura da cenoura, uma vez que esta possui uma parede celular rígida (Nowacka e Wedzik, 2016), e baixa porosidade (3,5) comparada a outras matrizes vegetais, tais como a berinjela (54), brócolis (8) e maçã (31,7) (Gras et al., 2003; Sanzana, Gras e Vidal, 2011; Schulze et al., 2012), o que pode ter dificultado a entrada da solução de pirofosfato férrico pelo processo de

impregnação no tecido vegetal. Na literatura são evidenciados estudos que comprovam que quanto maior for a porosidade do produto, maior é o índice de incorporação da solução impregnante (MARTELO et al., 2011).

Gras et al (2003) no estudo da fortificação de cenoura com cálcio através da impregnação a vácuo, obtiveram um percentual de incorporação de 3 a 6% de solução impregnante, em fatias com diferentes espessuras, utilizando uma pressão de vácuo de 50 mbar por um período de 10 minutos de impregnação e restauração. Resultados um pouco superiores foram encontrados neste estudo (6,98 e 7%) para o mesmo tempo de impregnação nos cortes em palito e rodela, respectivamente.

Foi estabelecido o tempo de 10 minutos para o período de vácuo a uma pressão de vácuo de 500 mmHg para este estudo, uma vez que nesse tempo ocorreram os maiores índices de incorporação e maior firmeza dos produtos.

Após a determinação do tempo de impregnação a vácuo, a restauração da pressão atmosférica do sistema (2ª etapa) foi avaliada nos tempos de 30, 40, 50 e 60 minutos. A Tabela 4 representa os resultados obtidos nesta etapa. Não foram observadas diferenças significativas ($p>0,05$) em nenhuma das análises, textura e índice de incorporação, nos dois tipos de cortes avaliados das cenoura minimamente processadas submetidas aos diferentes tempos de restauração.

Tabela 4. Índice de Incorporação e textura das cenouras minimamente processadas submetidas a diferentes tempos de restauração a vácuo.

		Tempo (minutos)			
		30	40	50	60
Índice de Incorporação (%)	Rodela	4,53 ± 1,93a	5,58 ± 2,43 a	5,53 ± 1,50a	5,23 ± 1,93a
	Palito	5,41 ± 1,29a	5,72 ± 2,59a	6,94 ± 1,47a	5,41 ± 1,48a
Textura (N)	Rodela	6,04 ± 0,63a	6,06 ± 1,01a	5,66 ± 0,22a	6,06 ± 0,19a
	Palito	5,89 ± 0,92a	6,09 ± 1,00a	5,58 ± 1,12a	6,26 ± 0,35a

Médias com a mesma letra na linha não são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey.

Hironaka et al. (2014) estudando o enriquecimento de batatas inteiras com ferro através do processo de impregnação a vácuo observou que quanto maior o tempo de restauração maior era a incorporação de ferro no produto. Schulze et al., (2012) obtiveram uma resposta positiva na incorporação de glicosídeos de quercetina de casca de maçã em maçãs utilizando uma pressão de

vácuo de 100-800 mbar por um tempo de vácuo de 5 min e tempo de restauração de 10 min. Para este estudo foi estabelecido o tempo de restauração de 40 min para o corte rodela e de 50 min para o corte palito devido apresentarem os maiores índices de incorporação.

Foram determinados os tempos de impregnação a vácuo de 10 minutos para ambos os cortes e os tempos de restauração da pressão atmosférica de 40 e 50 minutos para os cortes rodela e palito, respectivamente.

5.2 Determinação da concentração de Pirofosfato Férrico (FePP) para utilização na impregnação a vácuo (IV) em cenouras minimamente processadas

As concentrações de ferro foram significativamente diferentes ($p < 0,05$) em ambos os cortes das cenouras minimamente processadas. Os valores das médias do teor de ferro obtido nas diferentes concentrações está exposto na Tabela 5. As cenouras submetidas a IV com a solução de pirofosfato férrico nas concentrações de 0,1 e 0,2 g/100g apresentaram um teor de ferro inferior ao exigido pela legislação para determinar se um produto pode ser considerado fortificado ou não. Para este estudo foi adotada a concentração de 0,3 g/100g de solução de pirofosfato férrico, uma vez que nesta concentração, em ambos os cortes da cenoura minimamente processada, o teor de ferro foi suficiente para considerar o produto como um alimento fortificado.

Tabela 5. Teor de ferro das cenouras minimamente processadas submetidas a diferentes concentrações de solução de pirofosfato férrico.

		Concentração de FePP (g/100g)			
		0,1	0,2	0,3	0,4
Teor de Ferro (mg/100g)	Rodela	2.85 ± 0,31a	4.86 ± 0,61 b	6.55 ± 0,52c	8.04 ± 0,57d
	Palito	2.24 ± 0,26a	3.12 ± 0,44 b	4.57 ± 0,63c	7.15 ± 0,49d

Médias com letras diferentes na linha são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey.

5.3 Determinação das características físico-químicas

5.3.1 Avaliação da cor das cenouras minimamente processadas adicionadas de ferro por IV

Os resultados obtidos pela análise de cor das cenouras minimamente processadas dos tratamentos controle impregnado à vácuo com água desmineralizada, controle in natura e adicionado de ferro pela IV nos cortes tipo rodela e palito estão expressos nas Tabelas 6 e 7. Não

foi constatada diferença significativa ($p > 0,05$) para os parâmetros avaliados, L^* , a^* , b^* , c^* , IE, IC e h° , em nenhum dos tratamentos analisados em ambos os cortes.

Tabela 6. Médias dos parâmetros de cor da cenoura minimamente processada (Rodela) dos tratamentos controle e incorporado com ferro através da IV armazenados por 12 dias a 7 °C.

Tratamentos	coordenadas de Cor						
	L^*	a^*	b^*	c^*	IE	IC	h°
CIN	53,32a	22,58a	26,96a	35,18a	99,56a	15,72a	50,11a
CIV	51,04a	22,1a	27,22a	35,11a	105,09a	15,92a	51,11a
IF	52,94a	25,03a	27,70a	37,35a	106,02a	17,18a	47,83a

Médias com a mesma letra na coluna não são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey. CIN – Controle in natura; CIV – Controle impregnado à vacuo; IFE – Impregnado com Ferro.

Tabela 7. Médias dos parâmetros de cor da cenoura minimamente processada (Palito) dos tratamentos controle e incorporado com ferro através da IV e armazenados por 12 dias a 7 °C.

Tratamentos	coordenadas de Cor						
	L^*	a^*	b^*	c^*	IE	IC	h°
CIN	56,34a	34,10a	36,24a	49,80a	138,05a	16,80a	46,81a
CIV	54,91a	32,01a	35,29a	47,67a	137,42a	16,59a	47,82a
IF	51,97a	32,19a	34,70a	47,37a	146,72a	18,04a	47,08a

Médias com a mesma letra na coluna não são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey. CIN – Controle in natura; CIV – Controle impregnado à vacuo; IFE – Impregnado com Ferro.

O parâmetro de cor L^* avaliado nos três tratamentos do corte tipo rodela apresentou uma influência significativa ($p < 0,05$) ao longo do período de armazenamento de doze dias. Para o corte tipo palito, avaliando-se a mesma coordenada, não foi constatada diferença significativa ($p > 0,05$) durante o mesmo período nos tratamentos analisados.

De acordo com a Figura 5, foi possível observar que os tratamentos submetidos ao processo de impregnação a vácuo, em ambos os cortes, apresentaram médias iniciais inferiores, para a coordenada L^* , em relação ao tratamento sem utilização da técnica de impregnação (controle in natura), portanto, constata-se que as cenouras se tornaram mais escuras após a etapa de IV, uma vez que quanto mais próximo de 0 for o valor de L^* , mais escuro é o produto, enquanto que valores próximos de 100 representam um produto mais claro. Vargas et al. (2009), no estudo de adição de revestimentos comestíveis por impregnação a vácuo em cenoura minimamente processada, também observaram uma diminuição da luminosidade nas cenouras submetidas a IV quando comparadas ao controle sem impregnação.

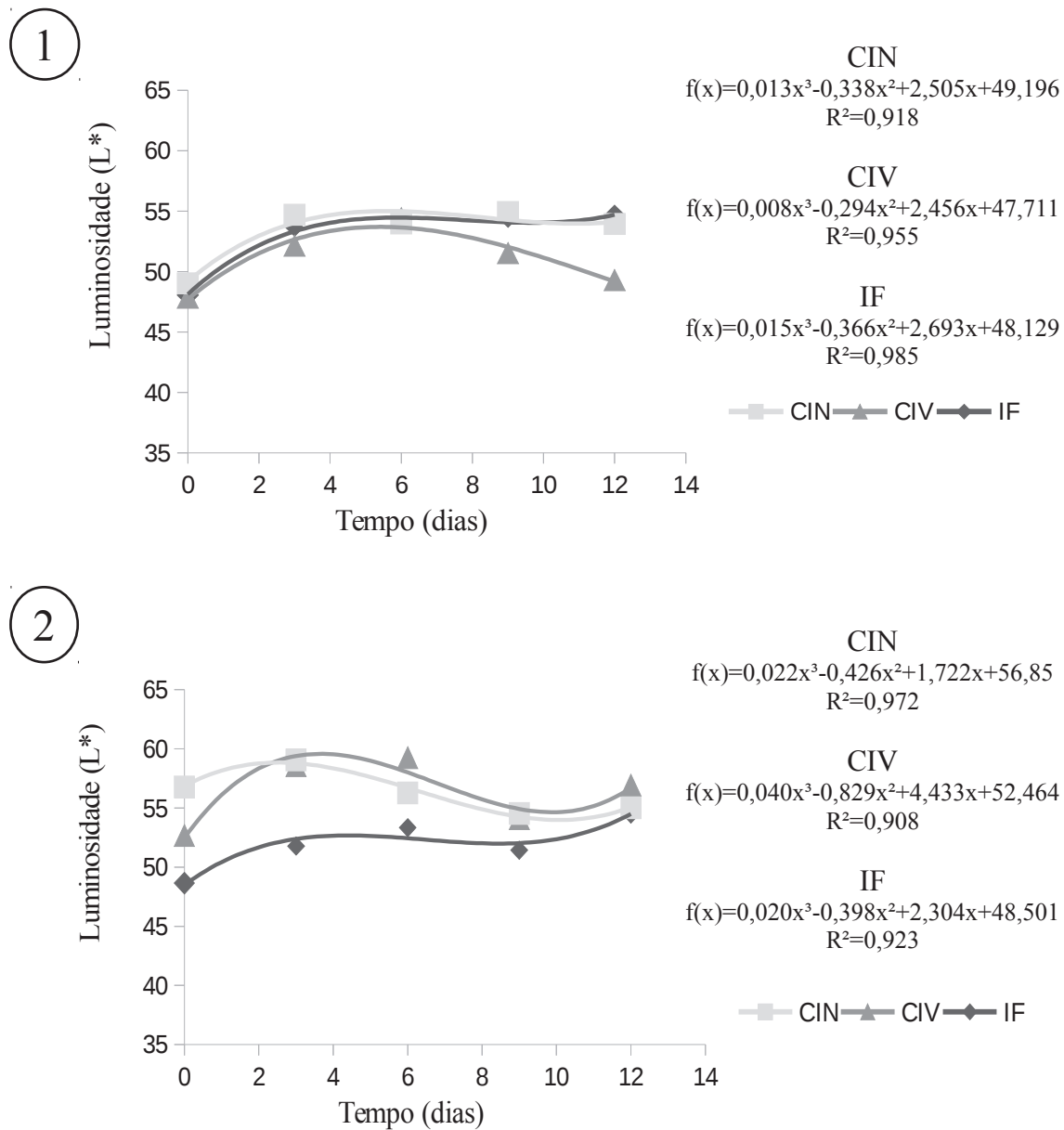


Figura 5. Variação da coordenada L^* ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2). CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.

Assim, nota-se que o processo de IV resulta em um redução inicial da luminosidade das rodela, uma vez que o alto nível de vácuo imposto ao sistema aumenta a porosidade do tecido vegetal, como resultado de uma elevada expansão e liberação do gás de dentro dos poros dos vegetais, e ainda permite uma melhor remoção do líquido nativo da estrutura do tecido. Desta forma, após a etapa de restabelecimento da pressão atmosférica, um volume maior de solução pode penetrar nos poros do vegetal através dos fenômenos de impregnação (DEROSSI, PILLI e

SEVERINI, 2010), tornando a matriz vegetal menos porosa e com menos bolhas de ar o que resulta em uma maior refletância de feixes de luz e promove assim a redução da luminosidade.

Foi observado ainda um aumento da luminosidade (Figura 5) durante o período de armazenamento de doze dias nos tratamentos avaliados em ambos os cortes, o que resultou em um esbranquiçamento das cenouras. Este comportamento também foi observado por Soares (2015) no estudo de impregnação a vácuo de quitosana em abóbora minimamente processada e por Vargas et al. (2009), e é causado, entre outros fatores, por uma desidratação superficial que ocorre devido ao processamento, podendo ser controlada com o uso de revestimentos higroscópicos (CISNEROS-ZEVALLOS, SALTVEIT e KROCHTA, 1997). Esta alteração pode comprometer a intenção de compra do produto, uma vez que a aparência é um dos principais fatores avaliados pelos consumidores na hora da compra.

Na avaliação do parâmetro a^* , ao longo da vida de prateleira, constatou-se que o período de armazenamento influenciou significativamente ($p < 0,05$) os tratamentos avaliados apenas no corte tipo rodela, observando-se um decréscimo dessa coordenada (Figura 6).

As cenouras submetidas ao processo de IV no corte tipo rodela apresentaram médias, para a coordenada a^* , de (22,1) e (25,03), enquanto que no corte tipo palito, as médias corresponderam a (32,01) e (32,19) para os tratamentos CIV e IF, respectivamente. Esta coordenada representa a variação do verde ao vermelho, quanto maior for este valor mais vermelho é o produto.

Os tratamentos do corte tipo palito apresentaram-se mais vermelhos quando comparados com o corte tipo rodela, este fator pode ter sido influenciado devido as características do corte, uma vez que o formato rodela abrange as regiões periféricas, centrais e laterais da cenoura, enquanto que o corte tipo palito abrange mais as regiões periféricas e laterais, a parte central da cenoura corresponde ao xilema, esta por sua vez possui uma coloração levemente esverdeada, o que pode ter contribuído para as médias inferiores da cenoura (rodela) no momento da leitura.

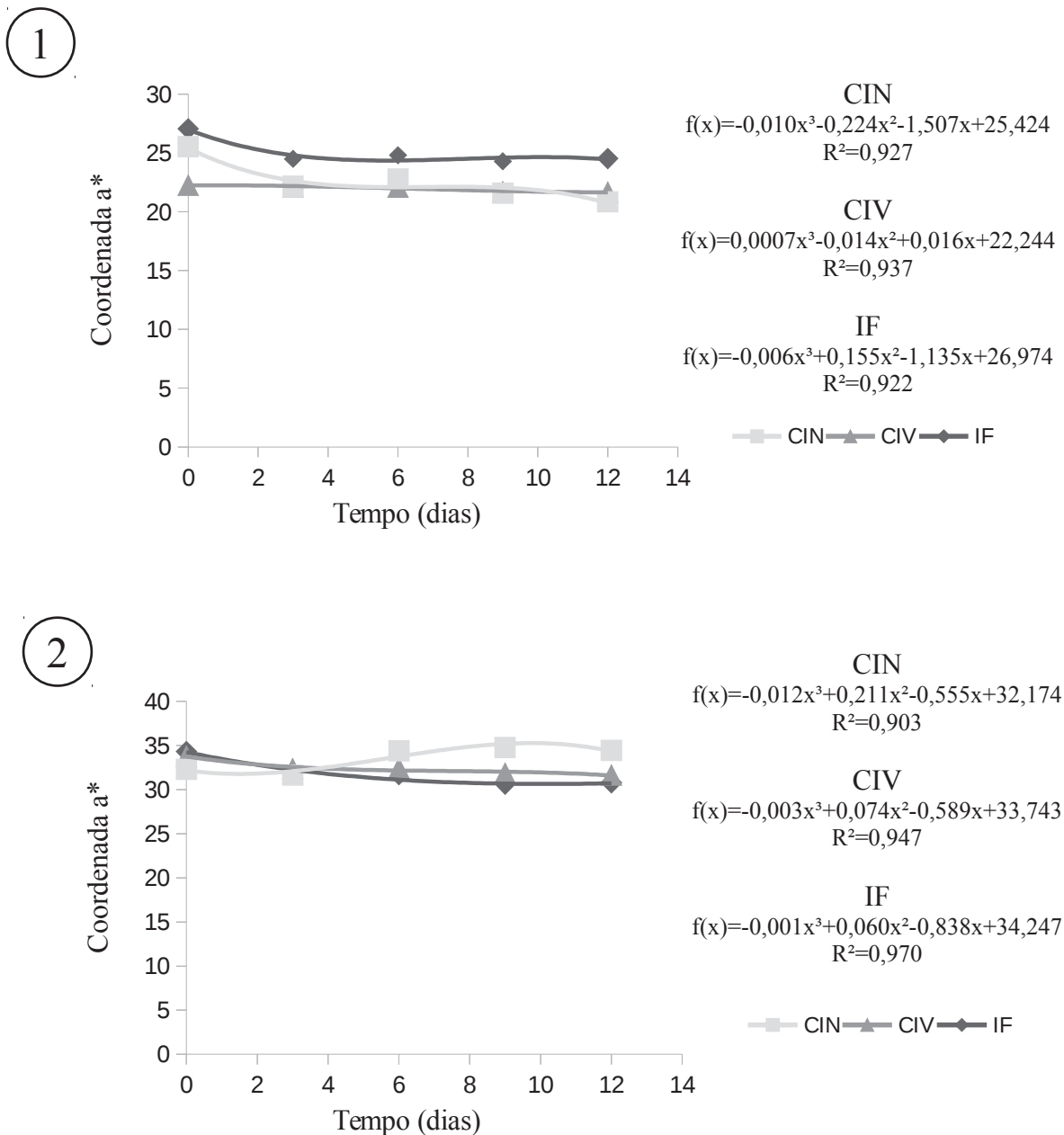


Figura 6. Variação da coordenada a* ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2). CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.

Os resultados para a coordenada b*, tanto nos tratamentos do corte tipo rodela quanto os do tipo palito, foram significativamente ($p>0,05$) influenciados ao longo da vida de prateleira avaliada, apresentando uma redução desta coordenada (Figura 7). As cenouras do corte tipo palito apresentaram médias superiores, 36,24; 35,29 e 34,70 aos do corte tipo rodela, 26,96; 27,22 e 27,70 para os tratamentos CIN, CIV e IF, respectivamente, sendo portanto mais

amareladas.

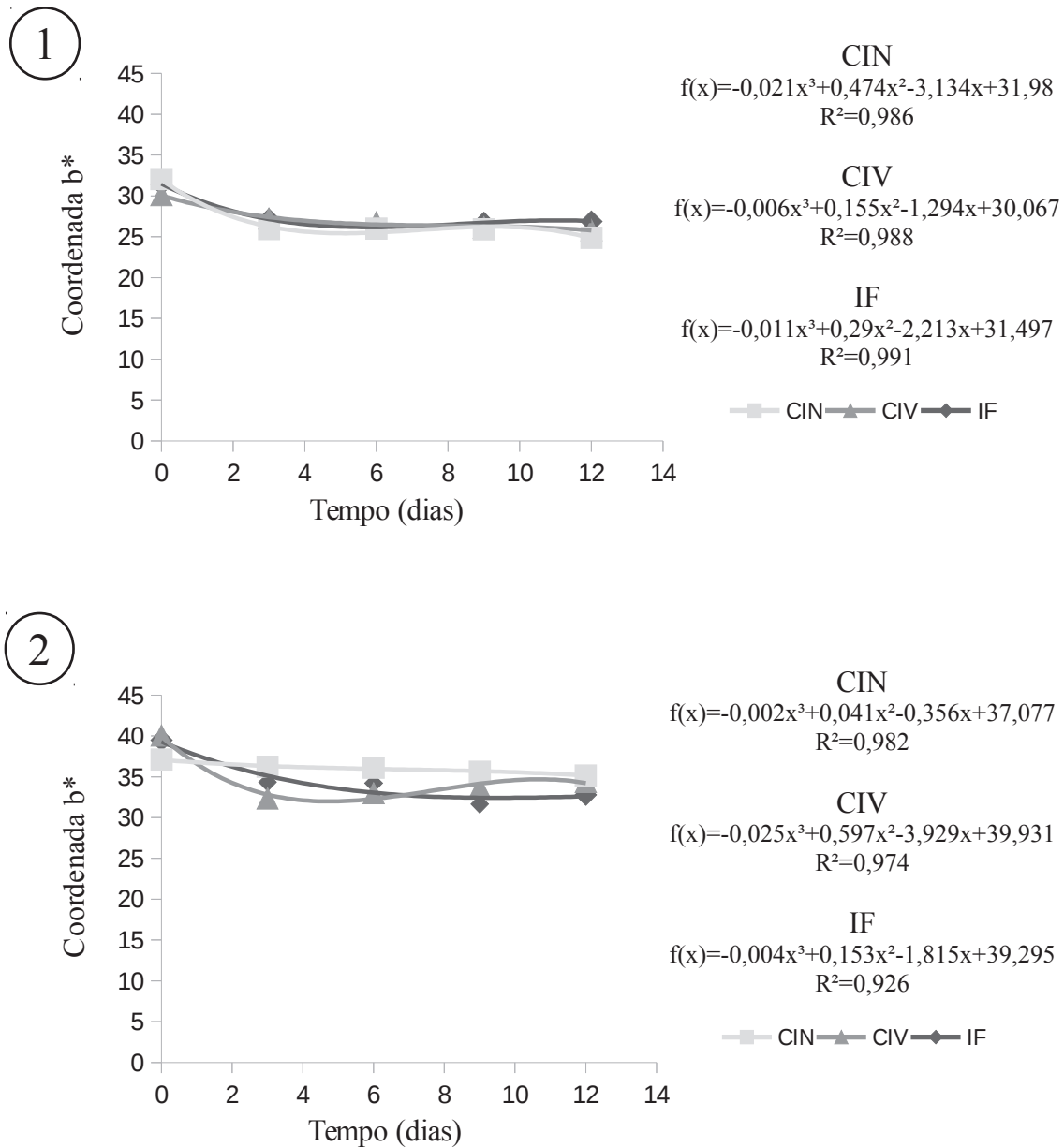


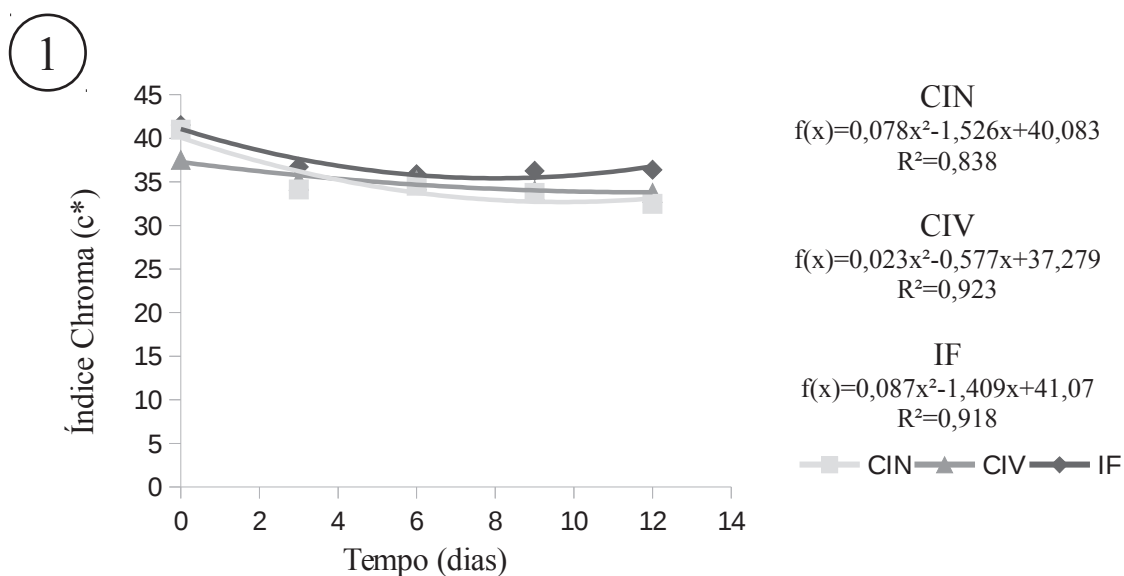
Figura 7. Variação da coordenada b* ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2). CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.

Foi observado que ambas coordenadas a* e b* variaram ao longo do período de armazenamento avaliado neste estudo, demonstrando um decréscimo ao longo do tempo. Resultados semelhantes foram observados por Alves et al (2010), em seu estudo sobre a vida útil de cenoura minimamente processada. Os autores afirmam que esse decréscimo indica a redução

da coloração vermelha (a^*) e amarela (b^*), a qual é frequente em produtos minimamente processados, em razão dos cortes sofridos, podendo ocorrer oxidação enzimática e conseqüentemente degradação dos carotenóides, que conferem coloração que variam do amarelo ao vermelho, sobretudo o beta-caroteno, que está relacionado com a pigmentação vermelho-alaranjada das cenouras.

O índice Chroma (c^*), que representa a saturação ou intensidade da cor, das cenouras minimamente processadas impregnadas com ferro e seus controles apresentou influência significativa ($p < 0,05$) ao longo do período de armazenamento avaliado nos tratamentos dos dois cortes, apresentando uma queda desta coordenada ao longo do tempo (Figura 8). Vargas et al (2009) em seu estudo, não percebeu alterações do Chroma até o sexto dia de armazenamento nas cenouras minimamente processadas impregnadas a vácuo com quitosana e em seus respectivos controles, entretanto, no nono dia houve uma diminuição significativa em quase todos os casos. Os autores afirmam que alterações no Chroma podem estar relacionadas com a desidratação e descoloração da superfície da amostra, juntamente com a oxidação de carotenóides.

Cardoso et al (2007) afirma que os valores menores de c^* representam um padrão de cor mais fraco (“aspecto fosco do objeto”) enquanto que os valores mais altos representam um padrão de cor mais forte (“cores vivas”), sendo este último o padrão de cor desejado para os alimentos. Percebeu-se neste estudo que os tratamentos do corte tipo palito apresentaram médias superiores aos dos tratamentos do corte rodela, apresentando-se com cores mais vivas.



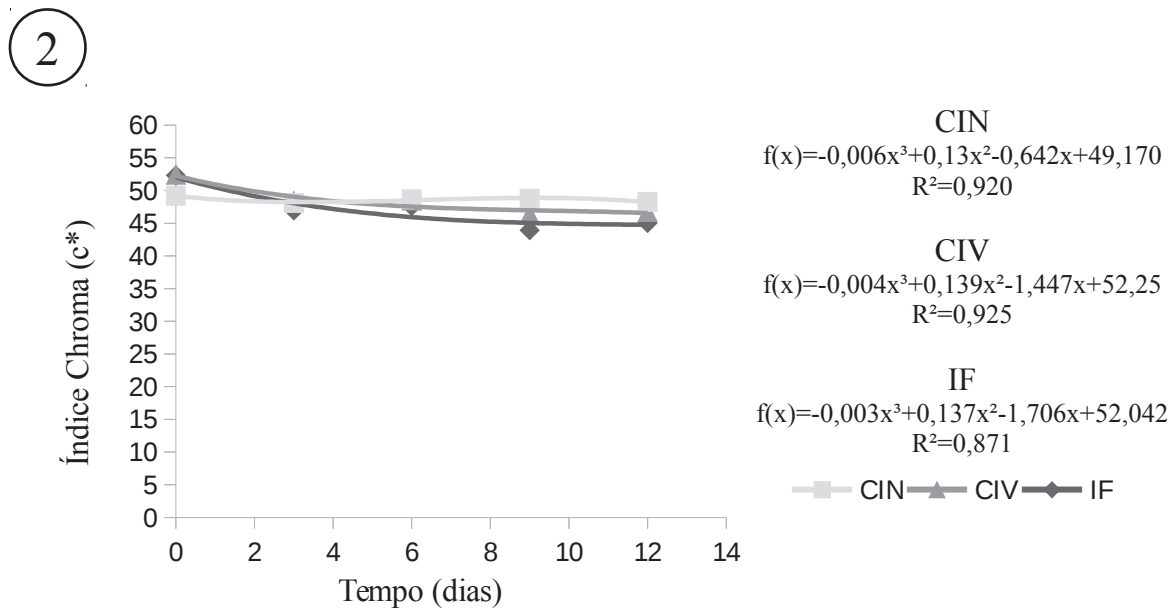


Figura 8. Variação do Índice Chroma (c*) ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2). CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.

O Ângulo Hue (H°) é um parâmetro de cor que mostra a variação da coloração dos produtos vegetais em um diagrama, onde o ângulo 0° representa o vermelho puro, o de 90° representa o amarelo puro, o ângulo de 180° representa o verde puro e o de 270° representa o azul (McGUIRE et al., 1992). Observou-se que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) para este parâmetro entre os tratamentos dos dois cortes das cenouras minimamente processadas, estando ambos situados no quadrante de coloração vermelho. Ao longo do armazenamento observou-se um efeito significativo ($p > 0,05$) do tempo sobre este parâmetro nos tratamentos de ambos os cortes, apresentado um redução (Figura 9). Vargas et al (2009), em seu estudo, observou valores quase constantes do angulo Hue durante o armazenamento.

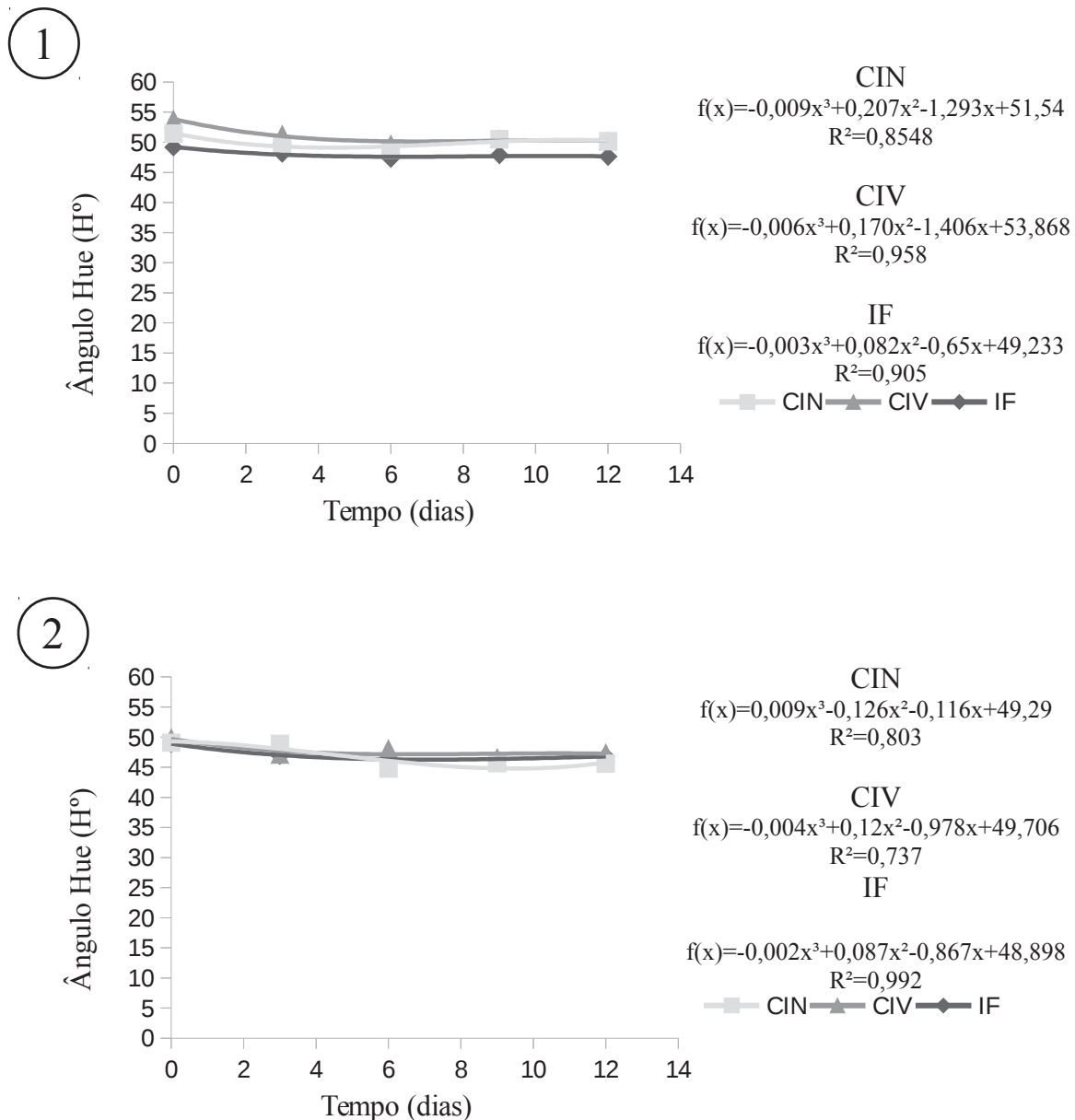


Figura 9. Variação do Ângulo Hue (H°) ao longo do tempo de armazenamento a 7°C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2). CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.

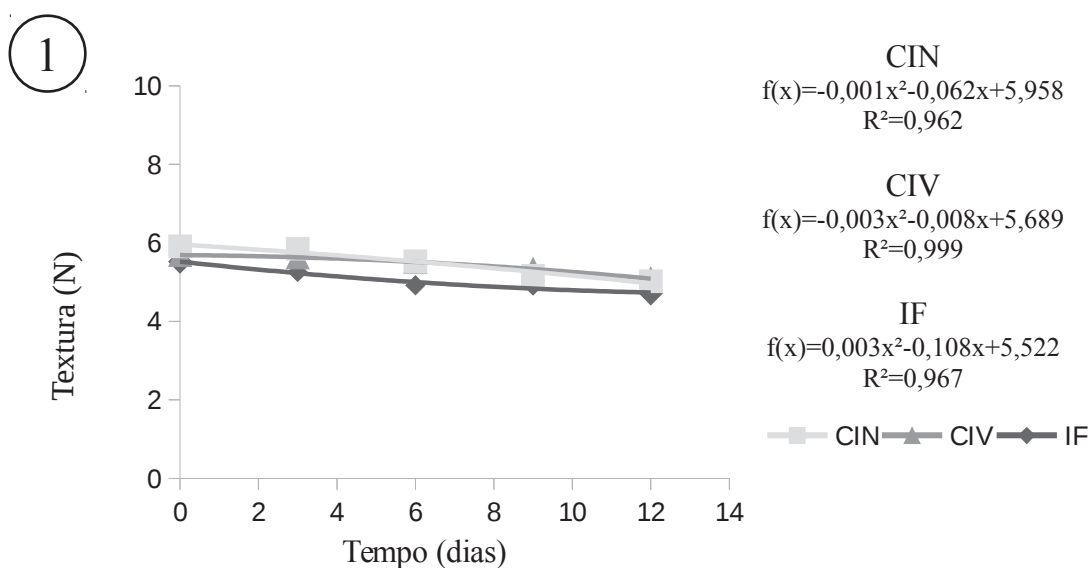
O índice de cor e o índice de escurecimento das cenouras minimamente processadas não apresentaram diferenças significativas ($p<0,05$) ao longo do período de armazenamento em ambos os cortes. Em relação ao índice de cor, quanto mais positivo forem seus valores mais intensa é a coloração vermelha e quanto mais negativo mais verde é o vegetal, as cenouras deste estudo apresentaram-se com um coloração mais vermelha, fator este que pode ser evidenciado devido ao teor de carotenoides da hortaliça.

5.3.2 Determinação de textura e perda de massa da cenoura minimamente processada adicionada de ferro por impregnação a vácuo

Não houve diferença significativa ($p>0,05$) da textura entre os tratamentos de ambos os tipos de cortes das cenouras minimamente processadas. As médias do corte tipo rodela foram de (5,49 N), (5,45 N) e (5,09 N), enquanto as do corte tipo palito foram de (5,54 N), (5,43 N) e (5,24 N) para os tratamentos CIN, CIV e IF, respectivamente. Alves et al. (2010) obtiveram média de (4,20 N) para a textura de cenoura minimamente processada em seu estudo.

Verificou-se que a técnica de IV promoveu uma maior redução da textura quando comparada com os tratamentos controle sem o uso do método. Este resultado era esperado, uma vez que a transferência de massa que ocorre no processo pode provocar danos à parede celular das matrizes vegetais, devido ao gradiente de pressão imposto ao sistema que força a expansão dos gases, dentro dos poros, e a saída do líquido nativo na etapa de vácuo, o que pode gerar forças mecânicas que acarretam na perda da rigidez da estrutura pelo debonding (desligamento) ou ruptura da parede celular (CHIRALT et al., 2001), fato este que justifica a maior perda da rigidez dos produtos submetidos a IV.

Avaliando-se a textura das cenouras minimamente processadas ao longo do período de armazenamento de doze dias foi possível observar uma redução significativa ($p<0,05$) nos tratamentos de ambos os cortes (Figura 10).



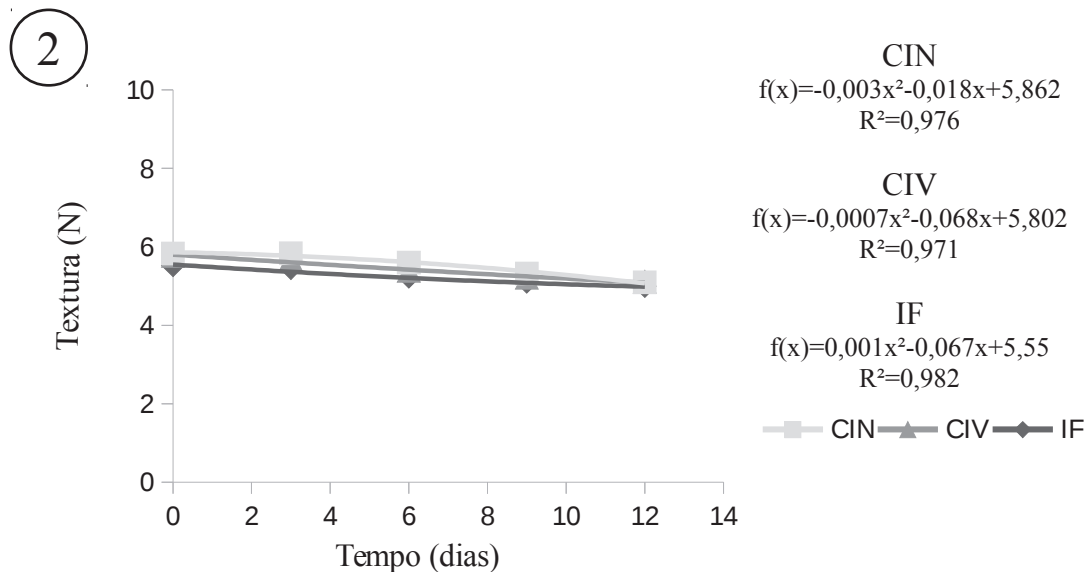


Figura 10. Textura (N) das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2) ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C. CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.

Rodrigues (2013), também observou uma redução da textura, ao longo do período de armazenamento de 10 dias, ao impregnar bactérias probióticas em goiabas minimamente processadas utilizando uma pressão de vácuo de 500 mmHg por 30 minutos. A perda de textura durante o armazenamento também foram observados por Soares (2015) ao utilizar a técnica de IV para adicionar um revestimento comestível em abóbora minimamente processada e por Vargas et al (2009) ao aplicar um revestimento comestível por IV em cenouras minimamente processadas.

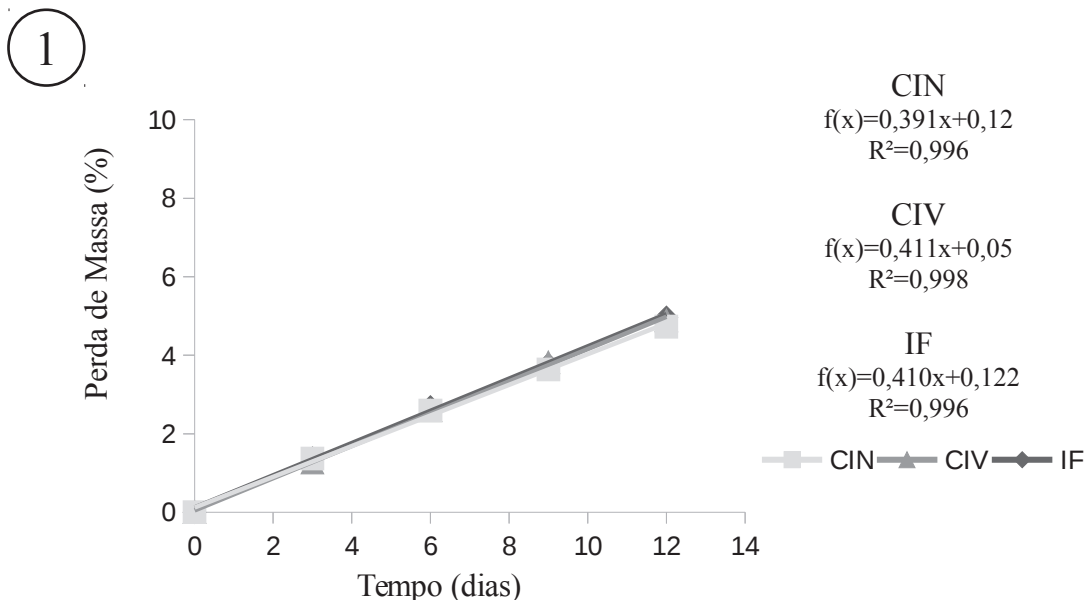
Os controles in natura deste estudo apesar de sofreram uma redução na sua textura ao longo do armazenamento, tiveram uma redução menos acentuada do que os tratamentos submetidos a IV, o que demonstra que o processo de IV, como já evidenciado, promove uma maior perda da firmeza dos produtos.

Toivonen e Brummell (2008) afirmam que a perda da qualidade da textura dos vegetais está relacionada com os processos de envelhecimento e senescência, além da perda de água, efeitos reduzidos de turgescência e fermentos incluindo a fuga de solutos osmóticos. As várias etapas do processamento como descascamento, corte e trituração acabam por lesionar as células e liberar o seu conteúdo nos locais do ferimento ocasionando a interrupção da compartimentação

subcelular nas superfícies de corte, e a mistura dos substratos e enzimas que são normalmente separadas podem desencadear reações que geralmente não ocorrem. Os ferimentos e lesões mecânicas provocados resultam em taxas aumentadas de respiração e produção de etileno, o que acelera a senescência, promovendo assim alterações na textura.

Segundo Alves et al. (2010) a análise de textura é uma das propriedades que mostram as transformações ocorridas na estrutura celular, coesão das células e alterações bioquímicas de um vegetal. Modificações desta propriedade, ao longo do armazenamento, podem influenciar na aceitabilidade final do produto pelo consumidor. Todavia, algumas técnicas já são evidenciadas na literatura para a manutenção da textura dos vegetais minimamente processados ao longo do período de armazenamento, como por exemplo, o uso de sais de cálcio, cloreto de sódio e maltodextrina como agentes de firmeza (PEREZ-CABRERA et al., 2011; OCCHINO et al., 2011; ALBERTINI et al., 2016).

Os resultados da perda de massa das cenouras minimamente processadas adicionadas de ferro e dos tratamentos controle estão apresentados na Figura 11. Foi possível verificar uma influência significativa ($p < 0,05$) do tempo de armazenamento nos tratamentos de ambos os cortes da cenoura. A perda de massa aumentou no decorrer dos 12 dias de armazenamento.



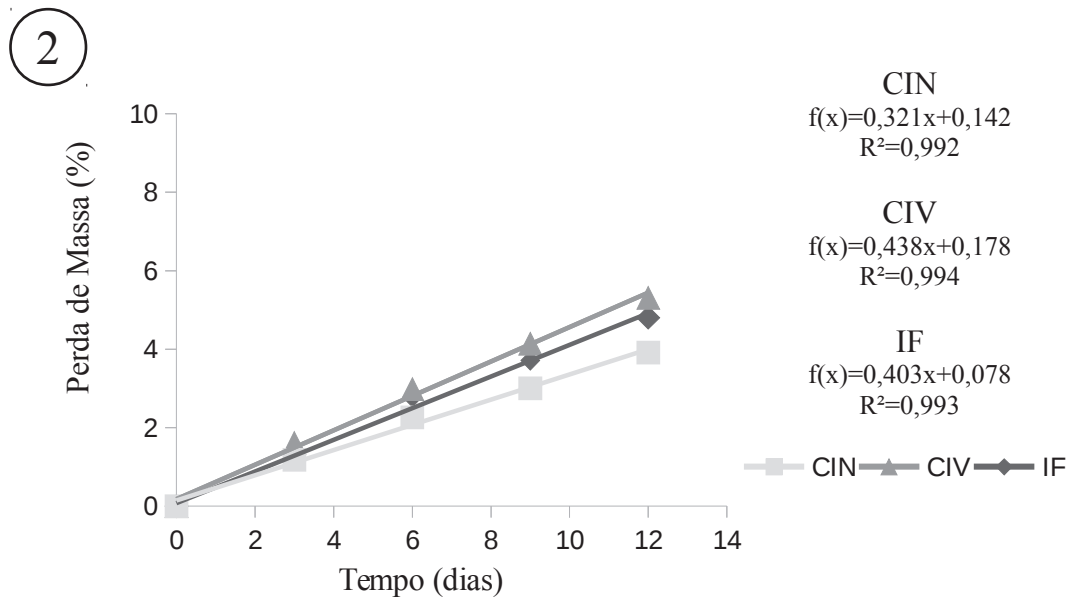


Figura 11. Perda de massa (%) ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela (1) e palito (2). CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vácuo; IF–Impregnado com Ferro.

Os tratamentos submetidos ao método de impregnação a vácuo dos cortes tipo rodela e palito apresentaram uma maior perda de massa quando comparados com os tratamentos controle de ambos os cortes, devido provavelmente a ruptura da parede celular do vegetal durante o processo de IV, o que facilitou assim uma maior liberação de água, fato este também evidenciado pela maior perda de textura das cenouras submetidas a IV. Oliveira (2014), em seu estudo, também percebeu uma maior perda de massa dos melões minimamente processados adicionados de microrganismos probióticos submetido a IV quando comparados com os tratamentos controle sem o uso da técnica.

Fai et al (2016) verificou uma perda de massa, em seu estudo com cenouras minimamente processadas na forma de rodela e trituradas, ao longo do período de armazenamento de 12 dias a 5 °C. Resultados semelhantes de perda de massa também foram observados por Pizato et al (2013) no estudo com maçãs minimamente processadas no decorrer do armazenamento a 4 °C durante o período de 15 dias.

Segundo Olivas e Barbosa-Cánova (2005), a perda de massa dos vegetais minimamente processados ocorre principalmente devido à perda de água já que outros componentes que podem ser perdidos, como aromas ou sabores e gases, produzidos pela respiração, são praticamente indetectáveis em termos de massa. Chitarra e Chitarra (2005) afirmam que os vegetais, mesmo

quando mantidas em condições ideais, podem apresentar perda de massa durante o armazenamento, em razão do efeito combinado da respiração e da transpiração.

5.3.3 Avaliação da incorporação de pirofosfato férrico (FePP) pelo processo de impregnação a vácuo

Verificou-se que a solução de pirofosfato férrico e a água desmineralizada utilizadas como líquido impregnante na cenoura minimamente processada não apresentaram influência ($p>0,05$), apresentando valor médio geral de 7,21% incorporação de solução ou suspensão para o corte tipo rodela e 8,09% para o corte tipo palito (Tabela 8 e 9). Reno, Resende e Prado (2010) em seu estudo com IV em melão utilizando como soluções impregnantes cloreto de cálcio adicionados de amido gelatinizado e glicose, perceberam uma influência significativa ($p<0,01$) do amido e glicose sobre a transferência de massa, o qual incorporaram ou retiraram componentes das amostras durante a etapa de impregnação a vácuo. Rodrigues (2013), não percebeu influência significativa ($p>0,05$) na incorporação de soluções de microrganismos probióticos em goiabas minimamente processadas.

Tabela 8. Médias do índice de incorporação (%) da solução de pirofosfato férrico e de água desmineralizada nas cenouras minimamente processadas no corte tipo rodela.

Tratamentos	Índice de Incorporação
Controle impregnado a vácuo	7,52a
Impregnado com ferro	6,91a

Médias com a mesma letra na coluna não são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey.

Tabela 9. Médias do índice de incorporação (%) da solução de pirofosfato férrico e de água desmineralizada nas cenouras minimamente processadas no corte tipo palito.

Tratamentos	Índice de Incorporação
Controle impregnado a vácuo	8,21a
Impregnado com ferro	7,98a

Médias com a mesma letra na coluna não são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey.

Fatores como a concentração, viscosidade e alta solubilidade da solução impregnante estão diretamente relacionados com a quantidade de líquido que pode ser incorporado ao material poroso pelo processo de impregnação a vácuo. Krasaekoopt e Suthanwong (2008)

verificaram que soluções de impregnação com diferentes viscosidades influenciaram o volume do líquido incorporado em goiaba e mamão demonstrando que quanto maior a viscosidade, menor a incorporação no material poroso.

5.3.4 Determinação de pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e carotenoides em cenoura minimamente processada adicionado de pirofosfato férrico (FePP)

Verificou-se (Tabela 10 e 11) que as cenouras minimamente processadas dos tratamentos controle e adicionada de ferro do corte tipo palito não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$) para as análises de pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e carotenoides. Para o corte tipo palito, somente a análise de carotenoides apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos avaliados.

Tabela 10. Médias das características físicas e químicas (sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez total titulável (ATT) e carotenoides) dos tratamentos das cenouras minimamente processadas do corte tipo rodela.

Tratamentos	pH	ATT	SST	Carotenoides Totais ($\mu\text{g/g}$)
CIN	6,19a	3,09a	8,09a	52,94a
CIV	6,17a	3,13a	7,14a	52,38a
IF	6,29a	3,11a	6,96a	51,93a

Médias com a mesma letra na coluna não são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey. CIN – Controle in natura; CIV – Controle impregnado à vacuo; IFE – Impregnado com Ferro.

Tabela 11. Médias das características físicas e químicas (sólidos solúveis totais (SST), pH, acidez total titulável (ATT) e carotenoides) dos tratamentos das cenouras minimamente processadas do corte tipo palito.

Tratamentos	pH	ATT	SST	Carotenoides Totais ($\mu\text{g/g}$)
CIN	6,23a	3,26a	7,98a	57,35a
CIV	6,22a	3,33a	7,06a	50,63ab
IF	6,32a	3,30a	7,02a	47,40b

Médias com letras diferentes na coluna são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey. CIN – Controle in natura; CIV – Controle impregnado à vacuo; IFE – Impregnado com Ferro.

Sanzana, Gras e Vidal-Brotóns (2011), ao utilizar o método de impregnação a vácuo para enriquecer algumas matrizes vegetais, perceberam uma ligeira redução do pH das amostras, decorrente da natureza ácida da solução impregnante, além de apresentarem um maior teor de sólidos solúveis que as amostras frescas, devido a substituição parcial do líquido nativo pela

solução impregnante mais concentrada. O efeito inverso foi observado neste estudo, provavelmente devido a composição da solução de pirofosfato férrico. Zhao e Xie (2004) afirmam que fatores como a composição da solução impregnante são de fundamental importância para a qualidade dos produtos submetidos a IV.

O tempo de armazenamento não teve influência significativa ($p > 0,05$) para pH, sólidos solúveis totais, carotenoides, e acidez total titulável nos tratamentos do corte tipo palito. Para o corte tipo rodela, apenas o teor de sólidos solúveis totais foi significativo ($p < 0,05$) quanto ao período de vida de prateleira avaliado (Figura 12).

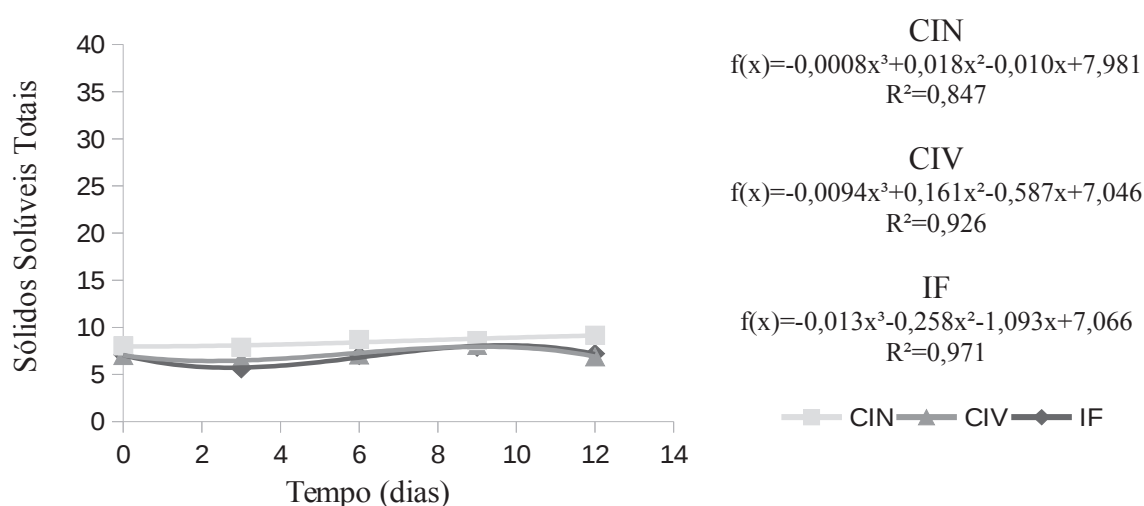


Figura 12. Sólidos Solúveis Totais (SST) ao longo do tempo de armazenamento a 7 °C das cenouras minimamente processadas na forma de rodela. CIN–Controle in natura; CIV–Controle impregnado à vacuo; IF–Impregnado com Ferro.

Em geral, o teor de sólidos solúveis totais tende a aumentar ao longo do período de armazenamento, indicando que o processo de amadurecimento ocorreu, devido ao aumento do teor de açúcares, seja pela biossíntese, pela degradação de polissacarídeos ou pela perda de água, resultando em maior concentração dos mesmos (CHITARRA e CHITARRA, 2005; BENÍTEZ et al., 2013).

Observou-se um teor médio de carotenoides de 52,95; 52,38 e 51,93 $\mu\text{g/g}$, para os tratamentos CIN, CIV e IF, respectivamente, nas cenouras minimamente processadas na forma de rodela, enquanto que para o corte tipo palito as médias foram 57,35; 50,63 e 47,40 $\mu\text{g/g}$ para

os mesmos tratamentos ao longo do período de armazenamento. Nota-se que os tratamentos submetidos ao processo de IV tiveram uma redução no teor de carotenoides, quando comparados com os tratamentos controle sem o uso do método. Este fator pode estar relacionado com os danos que o processo de IV causam à parede celular dos vegetais. Rodriguez Amaya (2002), afirma que carotenoides presentes nos alimentos encontram-se naturalmente protegidos pela estrutura do tecido vegetal. As várias etapas do processamento, como descascamento e corte, acabam por aumentar a área superficial e, por consequência à exposição dos carotenoides ao oxigênio, luz e a enzimas oxidativas, dando início a uma série de reações de degradação, ocasionando assim a perda destes compostos.

Spilimbergo et al (2013) não observou redução significativa no teor de carotenoides em seu estudo com cenouras minimamente processadas durante o armazenamento a 4 °C por quatro semanas, obtendo valor final e inicial de 78,6 e 69,2 µg/g, respectivamente. Os autores ainda afirmam que os carotenoides possuem efeitos positivos na saúde humana e a que a sua presença contribui de forma importante para a aceitação geral das cenouras pelos consumidores.

5.4 Avaliação do teor de ferro das cenouras minimamente processadas submetidas a impregnação a vácuo e seus controles e efeito do cozimento sobre o conteúdo de ferro

Foi observado o teor de ferro das cenouras minimamente processadas, ambos os cortes, submetidas a impregnação a vácuo com uma solução de pirofosfato férrico de 0,3g/100g e também dos tratamentos controle in natura e impregnado a vácuo com água desmineralizada. Os tratamentos de ambos os cortes foram significativamente ($p < 0,05$) diferentes quanto ao teor de ferro avaliado (Tabelas 12 e 13). As médias do conteúdo de ferro presente nas amostras do corte rodela foram 0,611; 0,609 e 4,50 mg/100g para os tratamentos CIN, CIV e IF, enquanto que para o corte tipo palito a médias obtidas foram 0,627; 0,610 e 5,61 mg/100g para os mesmos tratamentos, respectivamente.

Tabela 12. Teor de ferro (mg/100g) das cenouras minimamente processadas submetidas a impregnação a vácuo e seus controles.

	Tratamentos	Teor de Ferro (mg/100g)
Rodela	CIN	0,611b
	CIV	0,609b
	IF	4,50a

Médias com letras diferentes na coluna são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey. CIN – Controle in natura; CIV – Controle impregnado à vacuo; IFE – Impregnado com Ferro.

Tabela 13. Teor de ferro (mg/100g) das cenouras minimamente processadas submetidas a impregnação a vácuo e seus controles.

	Tratamentos	Teor de Ferro (mg/100g)
Palito	CIN	0,627b
	CIV	0,610b
	IF	5,61a

Médias com letras diferentes na coluna são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey. CIN – Controle in natura; CIV – Controle impregnado à vacuo; IFE – Impregnado com Ferro.

Os tratamentos in natura apresentaram médias de 0,611 e 0,627 mg/100g para os os cortes tipo rodela e palito, respectivamente. Resultados semelhantes foram observados por Martini (2002) 0,4 mg/100g, e por Machado, Canniatti-Brazaca e Piedade (2006) 0,55 mg/100g. Os tratamentos controle impregnado a vácuo com água desmineralizada apresentaram médias um pouco inferiores quando comparados com os controle in natura, provavelmente devido a transferência de fluido que ocorre no processo de impregnação a vácuo, uma vez que a etapa de vácuo além de forçar a saída do gás presente nos poros, ainda força a saída do fluido interno da matriz vegetal, o que pode ocasionar perdas de alguns componentes, inclusive de minerais. O processo de impregnação a vácuo proporcionou um aumento de 7,36 e 8,94 vezes da concentração de ferro nos cortes tipo rodela e palito, respectivamente, quando comparado com as amostras in natura. Os tratamentos do corte palito apresentaram médias maiores que os do corte tipo rodela, ocasionado devido ao índice de incorporação, uma vez que quanto maior for a incorporação, mais solução fica disponível nos poros da matriz vegetal e conseqüentemente maior será o teor de ferro.

O teor de ferro avaliado nos tratamentos de ambos os cortes não apresentou uma influência significativa ($p < 0,05$) ao longo do período de armazenamento de doze dias. Em geral os minerais não se degradam com a senescência dos produtos, entretando os minimamente processados perdem água ao longo do período, uma vez que o processo de respiração da matriz vegetal continua, e este exudado pode carrear alguns componentes, dentre eles os minerais, ocasionando assim leves perdas.

Segundo a legislação brasileira, para que o alimento seja considerado como fortificado, este deve fornecer no mínimo 30% da IDR de referência em 100g de produto (BRASIL, 1998). As cenouras minimamente processadas deste estudo podem ser consideradas como alimento fortificado, uma vez que fornecem 36,07% da recomendação diária de ferro para adultos, 33,66% para mulheres lactantes e 56% para crianças com idade entre 7 e 10 anos (BRASIL, 2004).

Hironaka et al (2014), em seu estudo sobre enriquecimento de batatas inteiras com pirofosfato férrico através do método de impregnação a vácuo, observaram que as batatas cozidas com casca e as descascadas forneciam cerca de 93-104% e 67-90%, respectivamente, da recomendação diária de ferro para homens adultos. Além disso, o consumo diário de batatas com casca e descascadas forneciam cerca de 43-48% e 31-41%, respectivamente, do nível recomendado para mulheres adultas.

O uso do técnica de impregnação a vácuo para produção de alimentos fortificados é bastante evidenciado na literatura, a exemplo da pesquisa realizada por Betoret et al (2005), o qual incorporou uma solução aquosa contendo cálcio e gluconato de ferro pelo método de IV em maçãs frescas, afim de produzir um alimento funcional. Os autores observaram que a quantidade de cátions incorporada fornece 30% da recomendação diária em 100g de fruta. Em outro estudo, Hironaka et al (2015), utilizou a IV para incorporar zinco em batatas inteiras. Os autores notaram que o consumo de apenas 86g de batatas enriquecidas eram suficiente para satisfazer a ingestão diária de zinco por um homem adulto. Lima (2014) no estudo do desenvolvimento de um abacaxi desidratado enriquecido com cálcio por meio de IV, pode observar um aumento de 11 vezes a concentração de cálcio nas amostras quando comparadas com os tratamentos in natura.

Tabela 14. Teor de ferro (mg/100g) das cenouras minimamente processadas submetidas a impregnação a vácuo e seus controles após cozimento.

	Tratamentos	Teor de Ferro (mg/100g)
Rodela	CIN	0,508b
	CIV	0,407b
	IF	3,607a

Médias com letras diferentes na coluna são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey. CIN – Controle in natura; CIV – Controle impregnado à vacuo; IFE – Impregnado com Ferro.

Tabela 15. Teor de ferro (mg/100g) das cenouras minimamente processadas submetidas a impregnação a vácuo e seus controles após cozimento.

	Tratamentos	Teor de Ferro (mg/100g)
Palito	CIN	0,431b
	CIV	0,385b
	IF	4,624a

Médias com letras diferentes na coluna são significativamente diferentes ao nível de 5% pelo teste Tukey. CIN – Controle in natura; CIV – Controle impregnado à vacuo; IFE – Impregnado com Ferro.

O efeito do cozimento sobre o conteúdo de ferro dos tratamentos das cenouras minimamente processadas em ambos os cortes foi observado. Os tratamentos dos corte tipo rodela bem como os do corte tipo palito foram significativamente ($p < 0,05$) diferentes quanto ao teor de ferro avaliado (Tabelas 14 e 15). Percebeu-se uma redução do conteúdo de ferro em todos os tratamentos. Este efeito também foi observado por Hironaka et al (2014). Os autores afirmam que o calor do vapor de cozimento pode provocar uma expansão do gás nos espaços intercelulares da matriz vegetal, podendo ocasionar a expulsão da solução de ferro dos espaços intercelulares. Portanto a grande perda do teor de ferro após o cozimento das cenouras minimamente processadas neste estudo está associada a perda de solução através dos espaços intercelulares da cenoura.

Embora ocorra a perda de ferro através do cozimento, a cenoura incorporada com ferro do corte palito ainda apresentou um teor de ferro que satisfaz 33% da ingestão diária para um adulto, 30,8% para mulheres lactantes e 51,33% para crianças de 7 a 10 anos, para a ingestão de 100g do produto, podendo assim ser considerado com um alimento fortificado, de acordo com a legislação. Enquanto que o corte tipo rodela atende somente o grupo das crianças, 40,07%, estando abaixo do mínimo recomendado para satisfazer os outros grupos e ser considerado como alimento fortificado.

5.5 Determinação das características microbiológicas

As contagens dos microrganismos psicrotópicos nas cenouras minimamente processadas, em ambos os tipos de cortes, adicionada de ferro por impregnação a vácuo e também dos tratamentos controles estão expressos na Tabela 16. Foi possível observar que logo após o processamento houve baixas contagens nos produtos, demonstrando assim, que as boas práticas de fabricação foram adotadas. Ao longo do período de armazenamento a 7 °C, observou-se um aumento nas contagens deste microrganismo em todos os tratamentos avaliados, no qual os tratamentos submetidos a impregnação a vácuo com ferro (IF), de ambos os cortes, apresentaram as maiores médias.

Foi possível observar também um aumento da contagem de bolores e leveduras ao longo do tempo de armazenamento (Tabela 17). Os tratamentos submetidos a impregnação a vácuo apresentaram médias superiores quando comparados com os tratamento in natura. Soares (2015) também observou um aumento na contagem de bolor e levedura, durante o período de armazenamento, em abóbora minimamente processada.

Embora não existam, na legislação brasileira vigente, padrões para bactérias psicrotróficas totais e bolores e leveduras, tem sido preconizado que alimentos contendo contagens microbianas acima de 10^5 e 10^6 UFC g^{-1} podem ser impróprios para o consumo humano por causa da perda do valor nutricional, alterações organolépticas e riscos de contaminação (VITTI et al., 2004). Os tratamentos das cenouras de ambos os cortes, mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos até o nono dia de armazenamento a 7 °C, no décimo segundo dia as cenouras apresentaram contagens microbiológicas elevadas para psicrotróficos. As contagens de bolor e levedura mantiveram-se dentro dos limites preconizados.

Tabela 16. Contagem de microrganismos psicrotróficos (Log UFC/g) das cenouras minimamente processadas adicionada de ferro por IV e tratamentos controle.

	Tratamentos	Tempo (dias)				
		0	3	6	9	12
Rodela	CIN	3,54	4,14	4,90	3,87	5,01
	CIV	3,17	4,17	5,00	4,50	4,94
	IF	3,49	4,76	5,04	4,89	5,18
Palito	CIN	3,43	4,78	4,90	5,19	5,15
	CIV	2,98	4,81	4,69	4,22	5,24
	IF	3,57	5,04	5,06	5,07	5,27

Tabela 17. Contagem de bolor e levedura (Log UFC/g) das cenouras minimamente processadas adicionada de ferro por IV e tratamentos controle.

	Tratamentos	Tempo (dias)				
		0	3	6	9	12
Rodela	CIN	2,68	3,60	3,86	3,34	3,86
	CIV	3,07	3,42	4,03	3,56	3,61
	IF	2,87	4,12	3,75	3,80	4,11
Palito	CIN	3,45	3,55	4,25	3,97	4,43
	CIV	3,13	3,71	4,43	3,93	4,69
	IF	4,06	4,44	4,32	4,76	4,62

Em relação a contagem total de aeróbios mesófilos, a RDC 12/01 (BRASIL, 2001), legislação usada como referência para frutas e/ou hortaliças “frescas, in natura, preparadas (descascadas ou fracionadas), não estabelece limites para este microrganismo. Santos, Junqueira e Pereira (2010) afirmam que alguns padrões ou recomendações internacionais podem ser usados

para comparação. A exemplo das legislações da França e da Alemanha que especificam, no ponto de venda final de vegetais preparados prontos para o consumo, o limite máximo de 7,7 log UFC.g⁻¹ para contagem total de microrganismos aeróbios mesófilos. Portanto as cenouras minimamente processadas deste estudo se enquadram dentro destes parâmetros (Tabela 18), uma vez que a média geral de microrganismos mesófilos no 12 dia de armazenamento a 7 °C foram 5 log UFC.g⁻¹ para o corte tipo rodela e 5,17 log UFC.g⁻¹.

Tabela 18. Contagem de microrganismos mesófilos (Log UFC/g) das cenouras minimamente processadas adicionada de ferro por IV e tratamentos controle.

Tratamentos		Tempo (dias)				
		0	3	6	9	12
Rodela	CIN	3,56	4,16	4,68	4,32	5,10
	CIV	3,28	4,12	4,56	4,39	4,73
	IF	3,87	4,66	4,89	4,66	5,19
Palito	CIN	3,49	4,49	4,26	4,93	5,06
	CIV	3,53	4,61	4,45	4,24	5,24
	IF	3,88	4,69	4,99	4,84	5,23

Neste estudo foi evidenciado a ausência de salmonella em todos os tratamentos dos dois tipos de cortes durante o período de armazenamento. A contagem de Salmonella tem como objetivo prevenir o consumidor de surtos alimentares causados pela ingestão desse patógeno.

6 CONCLUSÕES

O processo de impregnação a vácuo se mostra bastante eficaz para a incorporação de ferro nos cortes das cenouras minimamente processadas. O tempo de aplicação de vácuo de 10 minutos e mais 40 e 50 minutos, de restauração da pressão atmosférica, para os cortes rodela e palito, respectivamente, em conjunto com uma concentração de solução de 0,3g/100g de pirofosfato férrico são suficientes para o desenvolvimento de uma cenoura minimamente processada com alto teor de ferro.

Ambos os cortes das cenouras minimamente processadas apresentaam-se como viáveis para a incorporação de ferro através da IV, entretanto o corte tipo palito apresenta menos alterações na cor, textura, carotenoides, bem como apresenta os maiores valores de incorporação de solução e um alto teor de ferro quando comparado com o corte tipo rodela.

O cozimento a vapor proporciona uma redução do conteúdo de ferro presente nas amostras, entretanto, mesmo com as perdas as cenouras do corte tipo palito atendem a pelo menos 30% da recomendação diária de ferro para todos os grupos.

As cenouras apresentaram ausência de salmonella, baixas contagens de bolores e leveduras, mesófilos e psicrotróficos mantedo-se dentro dos limites preconizados.

As cenouras minimamente processadas adicionadas de ferro podem ser uma alternativa para o consumo de alimentos fortificados. Além disso, esse produto pode ser consumido por indivíduos que possuem anemia ferropriva, ou alguma carência deste mineral. Contudo, faz-se necessário mais estudos sobre as propriedades sensoriais das cenouras.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. Official Methods of Analysis of the AOAC. 16. ed. Washington, DC, 2000.

ALVES, J. A.; VILAS-BOAS, E. V. B.; SOUZA, E. C.; VILAS-BOAS, B. M.; PICOLLI, R. H. Vida útil de produto minimamente processado composto por abóbora, cenoura, chuchu e mandioquinha-salsa. **Ciência e Agrotecnologia, Lavras**, v. 34, n. 1, p. 182-189, 2010.

ANDRÉS-BELLO, A.; JESÚS, C.; GARCÍA-SEGOVIA, P.; PÁGAN-MORENO, M. J.; MARTÍNEZ-MONZO, J. Vacuum impregnation as a tool to introduce biopreservatives in gilthead sea bream fillets (*Sparus aurata*). **LWT-Food Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 758-765, 2015.

BENÍTEZ, S. et al. Aloe vera based edible coatings improve the quality of minimally processed ‘Hayward’ kiwifruit. **Postharvest Biology and Technology**, v. 81, p. 29-36, 2013.

BETORET, N.; PUENTE, L.; DÍAZ, M. J., PAGÁN, M. J.; GARCÍA, M. J.; GRAS, M. L.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; FITO, P. Development of probiotic-enriched dried fruits by vacuum impregnation. **Journal of food Engineering**, v. 56, n. 2, p. 273-277, 2003.

BETORET, N.; MARTINYZ-MONZO, J.; FITO, P. J.; FITO, P. Calcium and Iron Distribution in Fortified Vacuum-impregnated Fruits Determined by Electron Dispersion X-ray Microanalysis. **Journal of food science**, v. 70, n. 1, p. E26-E30, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC no 344, de 13 de dezembro de 2002. Aprova o regulamento técnico para a fortificação das farinhas de trigo e das farinhas de milho com ferro e ácido fólico. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/f851a500474580668c83dc3fbc4c6735/RDC_344_2002.pdf?MOD=AJPERES>, acesso em: 27 de jul. de 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 31, de 13 de janeiro de 1998. Aprova o Regulamento Técnico referente a Alimentos Adicionados de Nutrientes Essenciais, constante do anexo desta Portaria. Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/documents/33916/394219/PORTARIA%2B_31_1998.pdf/99df1492-aeaa-4c00-b403-7a5ab8863b9c>, acesso em: 12 de nov. de 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Consulta Pública nº 80, de 13 de dezembro de 2004. “Regulamento técnico sobre a ingestão diária recomendada (idr) de proteína, vitaminas e minerais”. 2004. Disponível em: <<http://www4.anvisa.gov.br/base/visadoc/CP/CP%5B8989-1-0%5D.PDF>>, acesso em: 12 de nov. de 2016.

CARCIOFI, B. A. M. **Dinâmica da impregnação a vácuo em meios porosos**. 2009. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

CARVALHO, M. C.; BARACAT, E. C. E.; SGARBIERI, V. C. Anemia ferropriva e anemia de doença crônica: distúrbios do metabolismo de ferro. **Segurança alimentar e nutricional**, v. 13, n. 2, p. 54-63, 2006.

CASTAGNINI, J. M. et al. Vacuum impregnation and air drying temperature effect on individual anthocyanins and antiradical capacity of blueberry juice included into an apple matrix. **LWT-Food Science and Technology**, v. 64, n. 2, p. 1289-1296, 2015.

CHIRALT, A. et al. Changes in mechanical properties throughout osmotic processes: Cryoprotectant effect. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 2, p. 129-135, 2001.

COUSIN, M. A.; JAY, J. M.; VASAVADA, P. C. Psychrotrophic microorganisms. DOWNES, F. P.; ITO, K. (Ed.). In: Compendium of methods for the microbiological examination of foods. 4.ed. Washington: American Public Health Association – APHA, p. 159-166, 2001.

CISNEROS-ZEVALLOS, L. U. I. S.; SALTVEIT, M. E.; KROCHTA, J. M. Hygroscopic coatings control surface white discoloration of peeled (minimally processed) carrots during storage. **Journal of food science**, v. 62, n. 2, p. 363-366, 1997.

CRUVINEL, R. S. R.; PRADO, M. E. T.; RESENDE, J. V.; CIRILLO, M. A. Preservação de abacaxis congelados por impregnação a vácuo de pectina e propionato de cálcio. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 40, n. 4, p. 539-548, 2009.

DOMANSKI, D.; FREUE, G. V. C.; SOJO, L.; KUZYK, M. A.; RATKAY, L.; PARKER, C. E.; BORCHERS, C. H. The use of multiplexed MRM for the discovery of biomarkers to differentiate iron-deficiency anemia from anemia of inflammation. *Journal of proteomics*, v. 75, n. 12, p. 3514-3528, 2012.

FARIÑA, L. S. C.; RODRIGUES, I. M. M. A.; HENRIQUES, M. H. F., SARAIVA, J. L. Otimização do rendimento do sumo de cenoura durante o processo produtivo. Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR Campus Ponta Grossa - Paraná – Brasil. 2007.

FAI, Ana Elizabeth Cavalcante et al. Development and evaluation of biodegradable films and coatings obtained from fruit and vegetable residues applied to fresh-cut carrot (*Daucus carota* L.). **Postharvest Biology and Technology**, v. 112, p. 194-204, 2016.

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

FISBERG, M.; BRAGA, J. A. P.; BARBOSA, T. N. N.; MARTINS, F. O. Funções Plenamente Reconhecidas de Nutrientes - Ferro / ILSI Brasil (2008)

FITO, P. Modelling of vacuum osmotic dehydration of food. **Journal of Food Engineering**, v. 22, n. 1, p. 313-328, 1994.

FITO, P.; CHIRALT, A.; BARAT, J. M.; ANDRÉS, A.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. (2001). Vacuum impregnation for development of new dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v. 49, n. 4, p. 297-302, 2001.

FITO, P.; PASTOR, R. Non-diffusional mechanisms occurring during vacuum osmotic dehydration. **Journal of Food Engineering**, v. 21, n. 4, p. 513-519, 1994.

GAO, L.; SUN, J.; ZHANG, M.; MUJUMDAR, A. S.; AN, J. Effect of pre-drying and vacuum impregnation with nano-calcium carbonate solution on stawberry, Carrot, corn, and blueberry. In: **European Drying Conference-EuroDrying**. 2011.

GOMES, J.; OLIVEIRA, G. Análises físico-químicas de alimentos. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2011.

GIOPPO, M.; SOUZA, A. M.; GONÇALVES, J.; AYUB, R. A. Vida útil pós-colheita do repolho roxo minimamente processado, armazenado em diferentes embalagens. **Revista Ceres**, v. 59, n. 4, p. 560-564, 2012.

GRAS, M. L.; VIDAL, D.; BETORET, N.; CHIRALT, A.; FITO, P. Calcium fortification of

vegetables by vacuum impregnation: Interactions with cellular matrix. **Journal of Food Engineering**, v. 56, n. 2, p. 279-284, 2003.

GROSSA-PARANÁ-BRASIL, Campus Ponta. *Optimização do rendimento do sumo de cenoura durante o processo produtivo*. 2007.

GROTTO, H. Z. W. Metabolismo do ferro: uma revisão sobre os principais mecanismos envolvidos em sua homeostase:[revisão]. **Rev. bras. hematol. hemoter**, v. 30, n. 5, p. 390-397, 2008.

GUERZONI, M. E.; GIANOTTI, A.; CORBO, M. R.; SINIGAGLIA, M. Shelf-life modelling for fresh-cut vegetables. *Postharvest Biology and Technology*, v. 9, n. 2, p. 195-207, 1996.

GUIMARÃES, I. C. **Cenouras minimamente processadas com cobertura de amido reforçada com suspensões de celulose micro/nanofibrilada obtidas de cenoura**. 2016. 139 f. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) Programa de Pós-graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2016.

HIRONAKA, K. ODA, Y.; KOAZE, H. Iron enrichment of whole potato tuber by vacuum impregnation. **LWT-Food Science and Technology**, v. 59, n. 1, p. 504-509, 2014.

HIRONAKA, K.; KIKUCHI, M.; KOAZE, H.; SATO, T.; KOJIMA, M.; YAMAMOTO, K.; YASUDA, K.; MORI, M.; TSUDA, S. Ascorbic acid enrichment of whole potato tuber by vacuum-impregnation. *Food chemistry*, v. 127, n. 3, p. 1114-1118, 2011.

FAO. Produção de cenoura. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC> Acesso em: 12 de nov. 2016.

IFPA. International Fresh-Cut Produce Association. Disponível em: <http://www.creativew.com/sites/ifpa/fcf.html>, Acesso em: 17 de jul. 2015.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4ª ed. 1ª ed. digital. São Paulo-SP, 2008. p. 1020.

KLUGE, R. A.; PICOLI, A. A.; DEL AGUILA, J. S. Respiração e produção de etileno em beterrabas inteiras e minimamente processadas submetidas a tratamentos com etileno e biorreguladores. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 1, p. 54-57, 2010.

LIMA, M. M. **Propriedades físico-químicas e de textura de abacaxi (var. pérola) desidratado enriquecido com cálcio por impregnação a vácuo**. 2014. 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

LOVATTO, M. T.; BISOGNIN, D. A.; O TREPTOW, R.; STORCK, L.; GNOCATO, F. S.; JUNIOR, G. M. Processamento mínimo de tubérculos de batata de baixo valor comercial. **Hortic. bras**, v. 30, n. 2, 2012.

MACHADO, F. M. V. F.; CANNIATTI-BRAZACA, Solange Guidolin; PIEDADE, S. M. S. Avaliação da disponibilidade de ferro em ovo, cenoura e couve e em suas misturas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 3, p. 610-618, 2006.

MAROUELLI, W. A.; OLIVEIRA, R. A.; SILVA, W. L. C. Irrigação da cultura da

cenoura. **Embrapa Hortaliças. Circular Técnica**, 2007.

MAZZUZ, C.F. Calidad de frutos citricos: manual para su gestion desde la recoleccion hasta la expedicion. Barcelona: Ediciones de Horticultura, S.L., 1996. 317p

MARTELO, Y.; RODRÍGUEZ, M. C.; MOLINA, D. R. Dinámica de impregnación al vacío en apio (*Apium graveolens* L.) y pepino (*Cucumis sativus* L.). **Revista MVZ Córdoba**, v. 16, n. 2, p. 2584-2592, 2011.

MANUAL TÉCNICO DE DIAGNÓSTICO LABORATORIAL DA SALMONELLA SPP. Brasília-DF, 2011.

MATOS, I. T. S. R., NUNES, M. T., MOTA, D. A., LAUREANO, M. M. M., & HOSHIBA, M. A. Qualidade microbiológica do mel de melipona sp. Produzido na amazônia central (parintins–am–brasil). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 6, n. 4, p. 91-95, 2012.

McGUIRE, R.G. Reporting of objective color measurements. *HortScience*, Alexandria, v.27, p.1254-1255, 1992.

MORETTI, C. L. (Ed.). **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças**. Embrapa Hortaliças, 2007.

NABESHIMA, E. H.; ORMENESE, R.; MONTENEGRO, F. M.; TODA, E.; SADAHIRA, M. S. Propriedades tecnológicas e sensoriais de pães fortificados com ferro. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 506-511, 2005.

NERI, Lilia et al. Use of vacuum impregnation for the production of high quality fresh-like apple products. **Journal of Food Engineering**, v. 179, p. 98-108, 2016.

NICK, C.; BORÉM, A. Cenoura do plantio à colheita. Viçosa (MG): Ed.UFV, 2016.

NOWACKA, M; WEDZIK, M. Effect of ultrasound treatment on microstructure, colour and carotenoid content in fresh and dried carrot tissue. **Applied Acoustics**, v. 103, p. 163-171, 2016.

OCCHINO, E.; HERNANDO, I.; LLORCA, E.; NERI, L.; PITTIA, P.; Effect of vacuum impregnation treatments to improve quality and texture of zucchini (*Cucurbita pepo*, L). **Procedia Food Science**, v. 1, p. 829-835, 2011.

OLIVAS, G. I.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Edible coatings for fresh-cut fruits. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 45, n. 7-8, p. 657-670, 2005.

OLIVEIRA, P. M. **Impregnação de bactérias probióticas em melão minimamente processado**. 2014. 77 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2014.

OLIVEIRA, V. M. CORTEZ, M. A. S.; FREITAS, M. Q.; FRANCO, R. M. Avaliação sensorial de bebida láctea fermentada com diferentes concentrações de soro de queijo, enriquecida com ferro. **Revista Brasileira de Ciência Veterinária**, v. 13, n. 2, 2006.

PALOU, E.; LÓPEZ-MALO, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V.; WELTICHANES, J.;

SWANSON, B. G. Polyphenoloxidase activity and color of blanched and high hydrostatic pressure treated banana puree. *Journal of Food Science*, v.64, p.42-45, 1999

PANARESE, Valentina et al. X-ray microtomography provides new insights into vacuum impregnation of spinach leaves. ***Journal of Food Engineering***, v. 188, p. 50-57, 2016.

PEREZ-CABRERA, L.; CHAFER, M.; CHIRALT, A.; GONZALEZ-MARTINEZ, C. Effectiveness of antibrowning agents applied by vacuum impregnation on minimally processed pear. ***LWT-Food Science and Technology***, v. 44, n. 10, p. 2273-2280, 2011.

PIZATO, Sandriane et al. Efeito da aplicação de diferentes revestimentos comestíveis na conservação de maçãs 'Royal Gala' minimamente processadas. 2013.

PRADO, M. E. T.; CHITARRA, A. B.; BONNAS, D. S.; PINHEIRO, A. C. M. Transformações bioquímicas de abacaxi minimamente processado armazenado sob atmosfera modificada. ***Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal***, v. 26, n. 3, p. 428-432, 2004.

RADZIEJEWSKA-KUBZDELA, E.; BIEGAŃSKA-MARECIK, R.; KIDÓN, M. Applicability of Vacuum Impregnation to Modify Physico-Chemical, Sensory and Nutritive Characteristics of Plant Origin Products—A Review. ***International journal of molecular sciences***, v. 15, n. 9, p. 16577-16610, 2014.

RENO, M. J.; PRADO, M. E. T.; RESENDE, J. V. Microstructural changes of frozen strawberries submitted to pre-treatments with additives and vacuum impregnation. ***Food Science and Technology (Campinas)***, v. 31, n. 1, p. 247-256, 2011.

RENO, M. J.; RESENDE, J. V.; PRADO, M. E. T. Avaliação do processo de impregnação a vácuo em melão, utilizando diferentes substâncias. ***Ciência e Agrotecnologia***, v. 34, p. 1270-1278, 2010.

RODRIGUES, M. Z. **Impregnação a vácuo de micro-organismos probióticos em goiaba minimamente processada**. 2013. 98 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013.

RODRIGUEZ-AMAYA, D. *A Guide to Carotenoids Analysis in Food* Washington: International Life Sciences Institute Press, 2001. 64p.

RODRIGUES, L. J. **O pequi (caryocar brasiliense camb.): Ciclo vital e agregação de valor pelo processamento mínimo**. 2005. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

RÖBLE, C.; AUTY, M.A.E.; BRUNTON, N.; GORMLEY, R.T.; BUTLER, F. Evaluation of fresh-cut apple slices enriched with probiotic bacteria. *Innovative Food Science&Emerging*, v. 11, p. 203-209, 2010a.

SAMPAIO, C. R. P.; FERREIRA, S. M. R.; CANNIATTI-BRAZACA, S. G. Caracterização físico-química e composição de barras de cereais fortificadas com ferro. ***Brazilian Journal of Food & Nutrition/Alimentos e Nutrição***, v. 21, n. 4, 2010.

SANTOS, T. B. A. et al. Microrganismos indicadores em frutas e hortaliças minimamente processadas. ***Braz. J. Food Techn***, v. 13, n. 2, p. 141-146, 2010.

SANZANA, S.; GRAS, M. L.; VIDAL-BROTÓNS, D. Functional foods enriched in Aloe vera. Effects of vacuum impregnation and temperature on the respiration rate and the respiratory quotient of some vegetables. *Procedia Food Science*, v. 1, p. 1528-1533, 2011.

SCHULZE, B.; PETH, S.; HUBBERMANN, E. M.; SCHWARZ, K. The influence of vacuum impregnation on the fortification of apple parenchyma with quercetin derivatives in combination with pore structures X-ray analysis. **Journal of Food Engineering**, v. 109, n. 3, p. 380-387, 2012.

SCHÜMANN, K.; ETTLE, T.; SZEGNER, B.; ELSENHANS, B.; SOLOMONS, N. W. On risks and benefits of iron supplementation recommendations for iron intake revisited. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, v. 21, n. 3, p. 147-168, 2007.

SHARMA, Krishan Datt et al. Chemical composition, functional properties and processing of carrot—a review. **Journal of food science and technology**, v. 49, n. 1, p. 22-32, 2012.

SPIILIMBERGO, Sara et al. High pressure carbon dioxide pasteurization of fresh-cut carrot. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 79, p. 92-100, 2013.

TIAN, T.; BLANCO, E.; SMOUKOV, S. K.; VELEV, O. D.; VELIKOV, K. P. Dissolution behaviour of ferric pyrophosphate and its mixtures with soluble pyrophosphates: Potential strategy for increasing iron bioavailability. **Food chemistry**, v. 208, p. 97-102, 2016.

TOIVONEN, P. M. A; BRUMMELL, D. A. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 1, p. 1-14, 2008.

VITTI, Maria Carolina Dario et al. Aspectos fisiológicos e microbiológicos de beterrabas minimamente processadas. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 39, n. 10, p. 1027-1032, 2004.

WHO. The global prevalence of anaemia in 2011. Geneva: World Health Organization; 2015.

ZHAO, Y.; XIE, J. Practical applications of vacuum impregnation in fruit and vegetable processing. *Trends in food science & technology*, v. 15, n. 9, p. 434-451, 2004.

