IV CONGRESSO INTERNACIONAL DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS COINTER - PDVAgro 2019

CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO DA COR EM MAÇÃS SUBMETIDAS AO BRANQUEAMENTO

CINÉTICA DE DEGRADACIÓN DEL COLOR EN MANZANAS BLANQUEADAS

BLEACHING AND KINETICS OF COLOR DEGRADATION IN APPLES

Apresentação: Comunicação Oral

Krause Gonçalves Silveira Albuquerque¹; Larissa Mylena Mendes Dias²; Sonara de França Sousa³

DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IVCOINTERPDVAgro.2019.0070>

Resumo

As maçãs possuem características sensoriais que são apreciadas pelo paladar brasileiro, no entanto, apresentam o inconveniente do rápido escurecimento após processadas, o que representa um problema do ponto de vista comercial. O escurecimento enzimático está associado à atividade das enzimas polifenoloxidase e peroxidase presentes na fruta. Tais enzimas podem ser inativadas antes do processamento por um pré-tratamento denominado de branqueamento. Em posse do enunciado, objetivou-se com o presente trabalho avaliar o desenvolvimento do escurecimento enzimático em maçãs tratadas pelo branqueamento por imersão e a cinética de escurecimento através de equação de primeira ordem. As frutas foram lavadas, sanitizadas e branqueadas inteiras a 70°C por 5 e 10 minutos. Após resfriadas, as maçãs foram cortadas longitudinalmente e avaliada quanto aos parâmetros L*, a* e b*, cujas leituras foram feitas a cada 10 minutos de exposição das fatias as condições ambientais, a partir destes parâmetros, foram calculados os valores de croma, tonalidade e índice de escurecimento. A cinética de escurecimento de primeira ordem foi aplicada aos dados experimentais. De acordo com os resultados obtidos, as variáveis tempo e temperatura promoveram o escurecimento das fatias, comprovado pela redução dos valores de luminosidade. As frutas apresentaram intensidade de coloração vermelho-amarelado durante todo período de tempo analisado. A

¹ Graduando em Engenharia de Alimentos, UFRPE-UAG, albuquerque.k.g.s@gmail.com

² Graduanda em Engenharia de Alimentos, UFRPE-UAG, larissammdias0@gmail.com

³ Dra. em Engenharia de Processos, UFRPE-UAG, sonara.franca@ufrpe.br

coloração tornou-se menos intensa e a tonalidade apresentou ângulo próximos a 0° , caracterizando o vermelho. O índice de escurecimento foi maior nas amostras branqueadas, as mesmas também apresentam maiores velocidades de escurecimento o que pode ser devido á reação de Maillard.

Palavras-Chave: polifenoloxidase, peroxidase, luminosidade, índice de escurecimento.

Resumen

Las manzanas tienen características sensoriales que son apreciadas por el paladar brasileño; sin embargo, tienen el inconveniente de un dorado rápido después del procesamiento, lo que representa un problema desde un punto de vista comercial. El pardeamiento enzimático está asociado con la actividad de las enzimas polifenoloxidasas y peroxidasas presentes en la fruta. Dichas enzimas pueden inactivarse antes del procesamiento mediante un llamado pretratamiento de blanqueo. Con esta afirmación, el objetivo de este estudio fue evaluar el desarrollo del pardeamiento enzimático en manzanas tratadas mediante blanqueamiento y cinética del pardeamiento mediante ecuaciones de primer orden. Las frutas fueron lavadas, desinfectadas y blanqueadas enteras a 70°C durante 5 y 10 minutos. Después de enfriar, las manzanas se cortaron longitudinalmente y se evaluaron los parámetros L^* , a^* y b^* , cuyas lecturas se tomaron cada 10 minutos de exposición de las rodajas a las condiciones ambientales. A partir de estos parámetros, se calcularon los valores de croma, sombra y color, e índice de oscurecimiento. La cinética de oscurecimiento de primer orden se aplicó a los datos experimentales. Según los resultados obtenidos, las variables de tiempo y temperatura promovieron el oscurecimiento de las rodajas, demostrado por la reducción de los valores de brillo. Los frutos mostraron una intensidad de color rojo amarillento durante todo el período analizado. La coloración se volvió menos intensa y el tono presentó un ángulo cercano a 0° , que caracteriza el rojo. El índice de oscurecimiento fue mayor en las muestras blanqueadas, también tienen velocidades de oscurecimiento más altas que pueden deberse a la reacción de Maillard.

Palabras Clave: polifenoloxidasas, peroxidasas, luminosidad; índice de oscurecimiento.

Abstract

The apples has sensorial characteristics that are appreciated by the brazilian palate, however, present the inconvenience of fast browning after processed, representing a problem from the commercialization. The enzymatic browning it is associated to the activity of polyphenoloxidase and peroxidase enzymes present in the fruit. Such enzymes should be

inactivated before processing by a pre-treatment known as bleaching. The present work was to evaluate the development of enzymatic browning in apples treated by immersion bleaching and darkening kinetics using a first order equation. The fruits were washed, sanitized and bleached whole at 70 ° C for 5 and 10 minutes. After cooling, the apples were cut longitudinally and evaluated for the parameters L *, a * and b *, whose readings were made every 10 minutes of exposure of the slices to the environmental conditions, from these parameters, the values of chroma, hue and darkening index. The first order darkening kinetics was applied to the experimental data. According to the results obtained, the variables time and temperature promoted the darkening of the slices, evidenced by the reduction of the luminosity values. The fruits had a yellowish-red color during the analyzed period of time. The coloration became less intense and the tonality presented an angle close to 0°, characterizing the red. The darkening index was higher in the bleached samples, they also presented higher darkening rates, which may be due to the Maillard reaction

Keywords: polyphenoloxidase, peroxidase, brightness, blackout index.

Introdução

A produção brasileira de maçãs (*Malus domestica Borkh*) em escala comercial deu-se a partir da década de 1960, de acordo com as informações do Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul - BRDE (2017). Aumentando de forma significativa no início da década de 1970 (FIORAVANÇO; LAZZAROTTO, 2012).

A pomicultura está distribuída em diversos estados brasileiros: Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Minas Gerais e Bahia (PETRI e LEITE, 2008). Sendo que, a concentração da produção de maçãs encontra-se na região Sul do país em razão principalmente das condições ambientais propícias para o cultivo da macieira, embora o seu cultivo esteja sendo expandido para outras regiões, até mesmo para aquelas não tradicionais ao cultivo de frutas temperadas (PETRI et al., 2011).

As cultivares Gala e Fuji são responsáveis pela maior parte da produção de maçãs no Brasil, apresentando qualidade organoléptica que são apreciadas pelo paladar brasileiro (FIORAVANÇO et al., 2010).

Sabe-se que uma quantidade significativa dessa produção é submetida aos processos de beneficiamento para melhoramento da conservação e distribuição dos produtos. No entanto, a maçã apresenta o inconveniente do rápido escurecimento, o que representa um problema do ponto de vista comercial.

Tal escurecimento ocorre principalmente após danos causados aos tecidos durante os processos de colheita, transporte, ou quando são expostos ao ar após terem sido cortados, fatiados ou esmagados, para posterior processamento, permitindo o contato entre a enzima e os substratos fenólicos que podem resultar na formação de compostos escuros (MDLULI, 2005).

Em vista disso, o objetivo do presente trabalho é avaliar o desenvolvimento do escurecimento em maçãs submetidas ao branqueamento e o efeito da cinética de escurecimento nas amostras

Fundamentação Teórica

O escurecimento enzimático está relacionado à ação das enzimas polifenoloxidase (PPO) e peroxidases (POD), que utilizam compostos fenólicos como substratos e provocam alterações indesejáveis na cor, sabor e aroma dos vegetais (VALDERRAMA et al., 2001).

Assim, torna-se relevante o uso de tecnologias que apresentem potencial de reverter esse processo de escurecimento além de melhorar as características dos alimentos. O método que utiliza o calor no processamento de alimentos são os mais usados para elevar a vida de prateleira dos produtos, que por sua vez, possibilita a inativação de determinadas enzimas e microrganismos (SUCUPIRA et al., 2014).

Dentre essas tecnologias está o branqueamento que envolve a passagem dos alimentos através do uso de água fervente ou vapor por um determinado tempo a uma temperatura pré-estabelecida. O tratamento tem como objetivo inativar as enzimas causadoras de deterioração, e consequentemente reduzir as possíveis alterações sensoriais e nutricionais (CORREIA e FARAONI, 2008).

De modo geral, o branqueamento pode influenciar diretamente nas alterações colorimétricas, assim, a equação cinética que descreve o processo pode ajudar no controle e garantir a melhoria da qualidade do produto obtido. Equações de ordem zero e de primeira ordem têm sido comumente aplicadas para descrever o escurecimento de diferentes materiais. Apesar dos vários trabalhos sobre a cinética de degradação da cor de diferentes produtos agrícolas, não foram encontradas na literatura estudos acerca das alterações colorimétricas na maçã durante o branqueamento.

Metodologia

O trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPA), na Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, campus Campina Grande – PB. As maçãs foram adquiridas no comércio local, selecionadas quanto ao grau de maturação (coloração da casca), onde as mesmas apresentaram-se adequadas para o consumo e processamento, livres de infestações fúngicas e danos mecânicos. Posteriormente, as frutas foram lavadas em água corrente, sanitizadas em hipoclorito de sódio 200 ppm por dez minutos e secas com o auxílio de papel toalha.

1.1. Branqueamento

O branqueamento foi realizado através da imersão das maçãs em água destilada a uma temperatura de 70°C por um período de tempo de 5 e 10 minutos, utilizando um banho-maria digital SPLABOR, modelo SP-06/60EDS.

Transcorrido o período de tempo estabelecido, as maçãs foram imersas em água a uma temperatura de aproximadamente 10°C por 2 minutos para a remoção do calor, evitando o cozimento do produto, sendo posteriormente secas a temperatura ambiente.

1.2. Análises físico-químicas

Foram determinadas, em triplicata, a acidez, com os resultados expressos em % de ácido málico e o pH das amostras de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto Adolfo Lutz (2008).

1.3. Parâmetros de coloração

As maçãs (sem branqueamento, branqueada a 70°C por 5 minutos e branqueada a 70°C por 10 minutos) foram cortadas longitudinalmente com o auxílio de uma faca e realizada a leitura da cor utilizando o espectrofotômetro MiniScan HunterLab XE Plus, equipado com iluminante D65, ângulo de observação de 10° e calibrado com placa padrão branca e preta (X=80,5; Y= 85,3; Z=90,0). Foram realizadas as leituras, em triplicata, dos seguintes parâmetros: L* luminosidade; a* transição da cor verde (-a*) para o vermelho (+a*); e b* transição da cor azul (-b*) para a cor amarela (+b*).

As leituras foram feitas a cada intervalo de tempo de 10 minutos, para todas as amostras. As coordenadas de cor C^* (croma), h^* (tonalidade) e índice de escurecimento (IE), foram calculadas de acordo com as Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$C^* = \sqrt{(a^*)^2 + (b^*)^2} \quad (1)$$

$$h^* = \tan^{-1} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (2)$$

$$IE = \frac{[100(X-0,031)]}{0,172} \quad (3)$$

$$\text{Em que: } X = \frac{a^*+1,75L^*}{(5,645L^*+a^*-3,02b^*)} \quad (4)$$

1.4. Cinética de escurecimento da cor

A descrição da cinética do escurecimento das amostras foi investigada ajustando-se a equação de primeira ordem aos dados experimentais, conforme a Equação 5.

$$\frac{IE}{IE_0} = \exp (\alpha_1 * t) \quad (5)$$

Em que; IE é o valor do índice de escurecimento em determinado tempo; IE_0 é o valor do índice de escurecimento do material *in natura*; e α_1 é a constante da cinética.

2.5 Análise estatística

Em posse dos resultados experimentais, foram feitas as médias e os desvios padrão das amostras. A comparação das médias foram determinadas através da análise de variância (ANOVA) e o teste de Tukey com nível de 5% de significância, utilizando-se o programa computacional Assistat versão 7.7 beta (SILVA e AZEVEDO, 2016).

Resultados e Discussão

A Tabela 1 refere-se às médias de acidez total titulável e pH das maçãs, observa-se que, as amostras estudadas não apresentaram diferenças significativas entre si. Vieites et al. (2014), avaliando a qualidade de maçãs 'Eva' de cultivo orgânico armazenadas a temperatura de $0 \pm 1^\circ\text{C}$

e umidade relativa de $60 \pm 6\%$, encontraram um valor médio para o pH de 3,73, e para a acidez total titulável, valores de 0,69 - 0,84 (g de ácido málico 100g^{-1}) do 0 ao 20 dia de armazenamento. As discrepâncias observadas na composição dos frutos pode ser creditada à fatores genéticos (diferenças de variedade) e ao manejo pré e pós-colheita, tais como estágio de maturação e condições de estocagem (SPINOLA et al., 2013).

Tabela 1 - Médias e desvios padrão da acidez total titulável e pH das maçãs

	Sem branqueamento	70°C por 5 minutos	70°C por 10 minutos
Acidez total titulável (% ác. málico)	0,14 $\pm$ 0,07 a	0,20 $\pm$ 0,06 a	0,19 $\pm$ 0,00 a
pH	5,04 $\pm$ 0,03 a	5,02 $\pm$ 0,12 a	5,01 $\pm$ 0,10 a

*Médias com letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na Tabela 2 encontram-se os valores para a luminosidade das amostras de maçãs. O parâmetro L* expressa a variação da coloração preta ($L^* = 0$) na base do eixo vertical da escala tridimensional, até branca ($L^* = 100$) no topo do mesmo eixo (TOEBE et al., 2011). Observa-se uma redução significativa da luminosidade em todos os tratamentos. A redução da luminosidade de acordo com o tempo estudado (cor L* - antes e depois) foi de 7,99%, 9,923% e 14,17% para as maçãs sem branqueamento, branqueadas a 70°C por 5 minutos e branqueadas a 70°C por 10 minutos, respectivamente.

Tabela 2 - Luminosidade das amostras de maçãs durante o período de tempo analisado

Médias com letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a

Luminosidade*			
Tempo	Sem branqueamento	70°C por 5 minutos	70°C por 10 minutos
0	83,32 $\pm$ 0,64 a	80,65 $\pm$ 0,38 a	78,82 $\pm$ 1,26 a
1	78,20 $\pm$ 0,6 b	76,09 $\pm$ 0,30 b	77,12 $\pm$ 0,16 b
2	77,27 $\pm$ 0,34 bc	75,74 $\pm$ 0,74 b	74,94 $\pm$ 0,54 c
3	76,76 $\pm$ 0,14 cd	73,87 $\pm$ 0,42 c	70,00 $\pm$ 0,19 d
4	76,89 $\pm$ 0,36 cd	72,24 $\pm$ 0,85 d	68,53 $\pm$ 0,14 e
5	76,46 $\pm$ 0,64 cde	72,43 $\pm$ 0,16 d	67,91 $\pm$ 0,07 e
6	75,93 $\pm$ 0,04 de	72,64 $\pm$ 0,37 cd	65,75 $\pm$ 0,27 f
7	75,33 $\pm$ 0,11 e	70,92 $\pm$ 0,02 e	64,17 $\pm$ 0,10 g
8	75,47 $\pm$ 0,12 e	70,73 $\pm$ 0,11 e	64,65 $\pm$ 0,01 g

Segundo Oliveira et al. (2008) a inativação enzimática da polifenoloxidase (PPO) por aquecimento é possível aplicando temperaturas superiores a 50°C, mas altas temperaturas alteram a cor do produto, podendo ocasionar mudanças indesejáveis. Excluindo a possibilidade de escurecimento enzimático em função da inativação pelo branqueamento (ZHOU et al, 2003) e, principalmente, pelos valores mais altos de luminosidade apresentados pela amostra controle, as mudanças na coloração indicam a ocorrência de reação de Maillard, comportamento normal ocorrido em frutos quando submetidos ao aquecimento.

Pizato et al. (2013), ao avaliarem o efeito da aplicação de diferentes revestimentos comestíveis na conservação da maçã ('Royal Gala') minimamente processada e armazenada a 4 ± 1 °C por 15 dias, observaram que em todos os tratamentos houve um aumento do escurecimento (L^*), sendo que as amostras do tratamento controle (9,0%) e aquelas submetidas ao tratamento com alginato de sódio (6,5%) apresentaram aumento significativo, quando comparado o primeiro e último dia de armazenamento.

Na Tabela 3, encontram-se os valores referentes ao parâmetro a^* que assume valores positivos para a transição de cor vermelha, observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos, bem como, um aumento da tonalidade vermelha em relação ao tempo, tais valores estão condizentes aos encontrados por Haminiuk et al. (2005) ao analisarem o efeito do pré-tratamento em maçãs, a saber, $1,75\pm0,07$ e $-1,71\pm0,04$ para a cor da polpa da maçã fuji sem tratamento e para a imersa em água fervente (96°C por dois minutos), respectivamente.

A coordenada a^* é um parâmetro importante para o estudo de escurecimento, pois a cor marrom resultante da presença de melaninas representa uma combinação do verde e vermelho. Um maior escurecimento é representado por um tom mais avermelhado, ou seja, valores positivos para a^* (OLIVEIRA et al., 2008).

Tabela 3 – Intensidade a^ das amostras de maçãs durante o período de tempo analisado*

Tempo	Intensidade a^*		
	Sem branqueamento	70°C por 5 minutos	70°C por 10 minutos
0	$4,44\pm0,28$ e	$1,72\pm0,45$ f	$0,33\pm0,22$ f
1	$4,20\pm0,25$ e	$1,40\pm0,15$ e	$3,47\pm0,14$ e
2	$4,77\pm0,01$ de	$1,78\pm0,27$ e	$5,09\pm0,22$ d
3	$5,12\pm0,01$ cd	$2,60\pm0,16$ d	$7,35\pm0,05$ c
4	$5,28\pm0,17$ cd	$3,22\pm0,27$ bc	$7,57\pm0,01$ bc

5	5,57±0,19 bc	2,92±0,14 cd	8,01±0,06 b
6	6,17±0,08 ab	3,61±0,17 b	9,40±0,07 a
7	6,24±0,06 a	4,13±0,04 a	9,67±0,11 a
8	6,53±0,44 a	4,62±0,05 a	9,84±0,07 a

*Médias com letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na Tabela 4, encontram-se os valores referentes ao parâmetro b*. Valores positivos indicam uma coloração amarela, que se torna mais intensa com o aumento do tempo analisado. A intensidade amarela também pode ser observada no trabalho de Haminiuk et al. (2005), cujos valores encontrado são 31±0,06 para maçãs sem branqueamento e 35,94±0,04 para maçãs branqueadas por imersão em água fervente.

Tabela 4 – Intensidade b das amostras de maçãs durante o período de tempo analisado*

Tempo	Intensidade b*		
	Sem branqueamento	70°C por 5 minutos	70°C por 10 minutos
0	34,71±1,31 cd	28,46±1,25 e	30,30±1,73 c
1	31,90±1,10 e	30,95±0,61 d	33,45±0,07 ab
2	33,27±0,53 de	35,08±1,31 c	34,56±0,93 ab
3	33,65±0,24 de	36,00±0,66 bc	35,40±0,36 a
4	34,62±0,09 cd	38,48±0,39 a	32,85±0,22 b
5	36,02±0,97 bc	37,18±0,22 abc	33,58±0,17 ab
6	36,84±0,03 b	38,33±0,64 a	33,53±0,27 ab
7	36,90±0,19 b	38,17±0,08 ab	33,29±0,33 b
8	36,71±0,53 b	36,98±0,12 abc	33,63±0,66 ab

*Médias com letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade

A Tabela 5 refere-se aos valores de cromaticidade das amostras. O croma (C) representa a intensidade ou saturação de cor, possuindo valor zero no centro do esquema tridimensional e aumentando à medida que se afasta do centro (TOEBE et al., 2011), isso indica que, quanto maior seu valor, maior é a intensidade da cor percebida. Nos resultados obtidos, observa-se uma redução deste parâmetro com o aumento do tempo de exposição, o que significa dizer que a cor torna-se menos intensa.

Tabela 5 - Valores de croma das amostras de maçãs durante o período de tempo analisado

Tempo	Croma*		
	Sem branqueamento	70°C por 5 minutos	70°C por 10 minutos
0	83,44±0,62 a	80,67±0,25 a	78,82±0,38 a
1	78,31±0,59 b	76,10±0,30 b	77,20±0,15 b

2	77,42±0,33 bc	75,76±0,73 b	75,12±0,53 c
3	76,93±0,13 cd	73,92±0,41 c	70,39±0,19 d
4	77,08±0,35 cd	72,31±0,84 de	68,95±0,14 e
5	76,65±0,62 cde	72,49±0,16 d	68,38±0,07 e
6	76,18±0,04 de	72,73±0,37 cd	66,42±0,26 f
7	75,59±0,10 e	71,04±0,02 ef	64,90±0,11 g
8	75,76±0,11 e	70,88±0,11 f	65,40± 0,01 g

*Médias com letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na Tabela 6, encontra-se o valor hue (h°) que é definido pelo ângulo de localização da cor no diagrama, mostrando a tonalidade da cor, no qual o ângulo 0° representa o vermelho puro; 90° representa o amarelo puro; 180° o verde puro e 270° o azul (TOEBE et al. 2011). A tonalidade vermelha é observada em todos os tratamentos, reduzindo com o tempo, provavelmente devido a mudança de cor para o marrom.

Pizato et al. (2013) observaram que em todos os tratamento utilizados no revestimento das maçãs minimamente processadas apresentaram redução significativa do ângulo ao longo do armazenamento. A amostra controle foi a que obteve maior redução (85,33%) de h*, sendo os valores obtidos significativamente inferiores aos demais tratamentos

Tabela 6- Tonalidade das amostras de maçãs durante o período de tempo analisado

Tempo	Tonalidade*		
	Sem branqueamento	70°C por 5 minutos	70°C por 10 minutos
0	1,44±0,01 a	1,51±0,01 a	1,56±0,01 a
1	1,44±0,01 ab	1,53±0,01 b	1,47±0,00 b
2	1,43±0,01 ab	1,52±0,01 b	1,43±0,01 c
3	1,42±0,00 bc	1,50±0,01 c	1,37±0,00 d
4	1,42±0,01 bc	1,49±0,01 cde	1,34±0,00 e
5	1,42±0,01 bc	1,49± 0,00 cd	1,34±0,00 e
6	1,41±0,00 c	1,48±0,01 def	1,30±0,00 f
7	1,40±0,00 c	1,46±0,00 f	1,29±0,00 f
8	1,39±0,01 ab	1,45±0,00 ef	1,29±0,01 f

*Médias com letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade

A Tabela 7 mostra os valores referentes ao índice de escurecimento das maçãs. Quanto mais elevado for este índice de escurecimento, mais escura será a amostra (SEIFER et al., 2015). Observa-se que, inicialmente, os maiores valores foram encontrados na maçã sem

branqueamento, e que, a partir do tempo 2, o índice de escurecimento foi maior na amostra branqueada a 70°C por 10 minutos,

Tabela 7- Índice de escurecimento das amostras de maçãs durante o período de tempo analisado

Tempo	Índice de escurecimento		
	Sem branqueamento	70°C por 5 minutos	70°C por 10 minutos
0	101,32±1,07 ef	95,62± 0,07 f	97,19 ± 1,34 g
1	100,68±0,67 f	99,31± 0,41 e	102,29±0,19 f
2	102,66±0,33 de	103,78 ±0,87 d	105,25±0,60 e
3	103,44±0,20 cd	106,17±0,42 c	110,24±0,23 bc
4	104,42±0,26 c	110,35±0,98 a	108,24±0,24 d
5	106,23±0,71 b	108,52±0,12 b	109,75±0,16 cd
6	107,68±0,05 ab	110,10 ±0,46 a	111,95±0,12 ab
7	108,11±0,12 a	111, 34±0,09 a	112,97±0,42 a
8	107,60±0,76 ab	110,25±0,06 a	113,16± 0,76 a

*Médias com letras iguais na mesma linha não diferem estatisticamente entre si de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na Tabela 8 encontram-se os valores de α e os coeficientes de determinação da cinética de escurecimento. A equação de primeira ordem apresentou um ajuste satisfatório aos dados experimentais, cujos valores de R^2 são iguais ou superiores a 0,8105.

O parâmetro α aumentou nas amostras branqueadas quando comparadas à amostra sem branqueamento, indicando que o pré-tratamento aumenta a velocidade de escurecimento das maçãs. Resultado semelhante foi encontrado por Borel et al. (2015), ao estudarem a cinética de degradação da cor no polén apícola durante a secagem infravermelho, onde os valores de α aumentaram ($2,0 \times 10^{-3}$, $3,1 \times 10^{-2}$ e $5,3 \times 10^{-2}$) com o aumento da potência da lâmpada utilizada na secagem, a saber, 100, 400 e 700 W/m², respectivamente.

Tabela 8 – Valores dos parâmetros pré-exponenciais e coeficientes de determinação da cinética de escurecimento aplicado às amostras de maçãs

	Parâmetros da cinética		
	Sem branqueamento	70°C por 5 minutos	70°C por 10 minutos
α (min ⁻¹)	0,0009	0,0023	0,0023
R^2	0,9584	0,8105	0,8204

A Figura 1 mostra o gráfico da cinética de escurecimento de primeira ordem aos dados experimentais, observa-se que, as amostras branqueadas apresentaram índice de escurecimento maiores, o que pode ser comprovado nas médias expressas na Tabela 7. Neste caso, a reação de Maillard foi predominante na formação de pigmentos, já que a amostra controle apresentou médias menores ao longo do tempo estudado, tal reação, além de influenciar a percepção do consumidor, podem evidenciar degradação de compostos bioativos importantes nos alimentos (LAVERDE et al., 2011).

Figura 1- Índice de escurecimento das amostras de maçãs parametrizado para os diferentes tratamentos estudados

Conclusões

As maçãs apresentaram uma baixa acidez e pH pouco ácido. As amostras apresentaram intensidade de coloração vermelho-amarelado durante todo período de tempo analisado. A coloração tornou-se menos intensa e a tonalidade apresentou ângulo próximos a 0° caracterizando o vermelho. O índice de escurecimento apresentou as maiores médias para as amostras branqueadas, devido principalmente à Reação de Maillard. A equação de cinética de escurecimento de primeira ordem apresentou um ajuste satisfatório aos dados experimentais, onde a velocidade de escurecimento foi igual nas amostras submetidas ao branqueamento.

Referências

BOREL, L. D. M.; LINHARES, M. C.; PRADO, M.M. Cinética de degradação da cor de pólen apícola durante a secagem infravermelho. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 37, 2015. São Carlos (SP). **Anais...** Universidade Federal de São Carlos, 2015. p 1/10.

BRDE - Banco Regional de Desenvolvimento do Extremo Sul. Superintendência de Planejamento. **Cadeia Produtiva da maçã no Brasil: limitações e potencialidades.** Disponível

em:<http://www.brde.com.br/media/brde.com.br/doc/estudos_e_pub/NT%202011-04%20Maca.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2017.

CORREIA, L. F. M.; FARAONI, A. S.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Efeitos do processamento industrial de alimentos sobre a estabilidade de vitaminas. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 19, n. 1, p. 83-95, jan/mar. 2008.

FIORAVANÇO, J. C.; GIRARDI, C. L.; CZERMAINSKI, A. B. C.; SILVA, G. A.; NACHTIGALL, G. R.; OLIVEIRA, P. R. D. **Cultura da macieira no Rio Grande do Sul: análise situacional e descrição varietal.** Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 1 ed., 60 p., 2010. (Documentos, 71).

FIORAVANÇO, J. C.; LAZZAROTTO, J. J. A cultura da macieira no Brasil: reflexões sobre produção, mercado e fatores determinantes da competitividade futura. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 42, n. 4, p. 42-54, jul/ago. 2012.

HAMINIUK, C. W. I.; OLIVEIRA, C. R. G.; BAGGIO, E. C. R.; MASSON, M. L. Efeito de pré-tratamentos no escurecimento das cultivares de maçã fuji e gala após o congelamento. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 5, p. 1029-1033, set./out, 2005.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos.** Edição IV, 1ª Edição Digital. Instituto Adolf Lutz, São Paulo, 2008.

LAVERDE, L. M.; ACEVEDO, A. N. C.; SCHEBOR, C.; BUERA, M. D. P.. Integrated approach for interpreting browning rate dependence with relative humidity in dehydrated fruits. **LWT - Food Science and Technology**. v 44. N 4. p. 963-968. 2011.

MDLULI, K. M. Partial purification and characterization of polyphenol oxidase and peroxidase from marula fruit (*Sclerocarya birrea* subsp. *Caffra*). **Food Chemistry**, v. 92, p. 311-323, setembro. 2005.

OLIVEIRA, T. M.; SOARES, N. F. F.; PAULA, C. D.; VIANA, G. A. Uso de embalagem ativa na inibição do escurecimento enzimático de maçãs. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 117-128, jan/mar. 2008.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B. Macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 857-1166, 2008.

PETRI, J. L.; LEITE, G. B.; COUTO, M.; FRANCESCATTO, P. Avanços na cultura da macieira no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, volume especial, p. 48-56, outubro. 2011.

PIZATO, S.; CORTEZ-VEGA, W. R.; PRENTICE-HERNÁNDEZ, C. BPRGES, C. D. Efeito da aplicação de diferentes revestimentos comestíveis na conservação de maçãs 'Royal Gala' minimamente processadas. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 1, p. 253-264, jan/fev. 2013.

SEIFER, M.; RIBEIRO, J. A.; NORA, R. F. F. C. L. Avaliação da cor em maçã (*Malus domestica borkh.*) cv. fuji, minimamente processada, tratada com diferentes coberturas comestíveis. In: Simpósio de alimentos, 4, 2015. Passo Fundo (RS). **Anais...** Universidade de Passo Fundo, 2015, p1/6.

SILVA, F. de A. S.; AZEVEDO, C. A. V. de. The Assistat Software Version 7.7 and its use in the analysis of experimental data. **Afr. J. Agric. Res**, v.11, n.39, p.3733-3740, 2016.

SPINOLA, V.; BERTA, B.; CÂMARA, J. S.; CASTILHO, P. C. Effect of Time and Temperature on Vitamin C Stability in Horticultural Extracts. UHPLC-PDA vs. Iodometric Titration as Analytical Methods. **LWT - Food Science and Technology**, London, v. 50, n. 2, p. 489-495, março. 2013.

SUCUPIRA, N. R.; XEREZ, A. C. P.; SOUSA, H. M. Perdas vitamínicas durante o tratamento térmico de alimentos. **UNOPAR Científica Ciências Biológicas e da Saúde**, v. 14, n. 2, fevereiro. 2014.

TOEBE, M.; BOTH, V. FILHO, A. C.; BRACKMANN, A.; STORCK, L. Dimensionamento amostral para avaliar firmeza de polpa e cor da epiderme em pêssego e maçã. **Rev. Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 1026-1035, out-dez. 2011.

VALDERRAMA, P.; MARANGONI, F.; CLEMENTE, E. Efeito do tratamento térmico sobre a atividade de peroxidase (POD) e polifenoloxidase (PPO) em maçã (*Mallus comunis*). **Ciênc. Tecnol. Alim.**, Campinas, v.21, n. 3, p. 321-325, set/dez. 2001.

VIEITES, R. L.; SOARES, L. P. R.; DAIUTO, E. R.; MENDONÇA, V. Z; FURLANETO, K. A.; FUJITA, E. Maçã 'eva' orgânica submetida a aplicação pós-colheita de Cloreto de cálcio. **Nativa, Sinop**, v. 02, n. 04, p. 187-193, out./dez. 2014.

ZHOU, Y.; DARLER, J. M.; UNDERHILL, S. J. R.; WILLS, R. B. H. Enzymes associated with blackheart development in pineapple fruit. **Food Chemistry**, v. 80, p. 565-572, abril. 2003.