

**GABRIEL HENRIQUE HORTA DE OLIVEIRA**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO TOMATE SUBMETIDO A  
ESFORÇO CONTROLADO DE COMPRESSÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2010**

**GABRIEL HENRIQUE HORTA DE OLIVEIRA**

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO TOMATE SUBMETIDO A  
ESFORÇO CONTROLADO DE COMPRESSÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título *Magister Scientiae*.

APROVADA: 19 de fevereiro de 2010.

---

Prof. Evandro de Castro Melo

---

Prof<sup>a</sup>. Lêda Rita D'Antonino Faroni

---

Prof. Derly José Henriques da Silva

---

Prof. Mateus da Silva Junqueira

---

Prof. Paulo Cesar Corrêa

(Orientador)

*Aos meus pais Afonso Ligório de Oliveira e Gislene Fátima Horta de Oliveira, e aos meus irmãos Gustavo Affonso Horta de Oliveira e Tatiana Mara Horta de Oliveira por dividirem as alegrias e tristezas da vida, com amor, carinho, confiança, bondade e dedicação irrestritas.*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua presença e por colocar pessoas maravilhosas em minha vida.

Aos meus pais e irmãos, pelo apoio, união e presença constante em minha vida.

Aos meus avós, tios e primos pela amizade e apoio.

Ao professor Paulo Cesar Corrêa, pela orientação, conselhos, ensinamentos, oportunidade e apoio para que eu conseguisse concluir esta importante etapa de minha formação pessoal e profissional.

Aos professores Fernando Luiz Finger e Paulo Roberto Cecon, pelo auxílio e sugestões.

Ao professor Tetuo Hara, pelos conselhos, amizade e incentivos imprescindíveis para minha formação pessoal e profissional.

Aos amigos Fernando, Sílvia, Marta, Jonathas, Rômulo e Marcelo, pela grande amizade sincera.

Aos amigos de laboratório Ana Paula, Bruna, Fábria, Fernanda, Aline, Mayra, Emílio e Guillermo, pela amizade, incentivo e companheirismo durante a condução do trabalho.

Aos estudantes Rafael e Davi, pela amizade e ajuda na condução do trabalho.

Aos amigos do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (Centreinar), pela amizade e ajuda na realização deste trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola, pela ajuda na realização deste trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que de alguma forma contribuíram para que esta importante etapa de minha vida se realizasse.

## BIOGRAFIA

GABRIEL HENRIQUE HORTA DE OLIVEIRA, filho de Afonso Ligório de Oliveira e Gislene Fátima Horta de Oliveira, nasceu na cidade de Mogi das Cruzes, estado de São Paulo, em 26 de agosto de 1982.

Em maio de 2002 iniciou o curso de Engenharia Agrícola e Ambiental na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa (MG), graduando-se em dezembro de 2007. No período de julho de 2006 a janeiro de 2007, foi bolsista do programa CAPES/FIPSE para a realização de um semestre de estudos na Iowa State University – ISU, Ames, EUA.

Em março de 2008 ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da UFV, na área de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, submetendo-se à defesa de dissertação, requisito indispensável para a obtenção do título de *Magister Scientiae*, em fevereiro de 2010.

## SUMÁRIO

RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	IX
INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	4
CAPÍTULO 1. <i>Variação das propriedades texturais dos frutos de tomateiro submetidos ao esforço de compressão durante o armazenamento em duas diferentes temperaturas.</i>	6
1.1 INTRODUÇÃO .....	6
1.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	9
1.2.1 <i>Matéria-prima</i> .....	9
1.2.2 <i>Aplicação do esforço de compressão e condições de armazenamento</i> .....	10
1.2.3 <i>Análises</i> .....	11
1.2.3.1 <i>Perda de massa</i> .....	11
1.2.3.2 <i>Avaliação da textura</i> .....	11
1.2.3.3 <i>Modelagem do processo de relaxação</i> .....	13
1.2.4 <i>Análise estatística</i> .....	14
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	15
1.3.1 <i>Perda de massa</i> .....	15
1.3.2 <i>Adequabilidade do modelo generalizado de Maxwell para descrever a relaxação dos frutos de tomate</i> .....	18
1.3.3 <i>Propriedades mecânicas dos frutos armazenados a 15 °C</i> .....	21
1.3.3.1 <i>Análises não-destrutivas</i> .....	21
1.3.3.2 <i>Análise destrutiva</i> .....	27
1.3.4 <i>Propriedades mecânicas dos frutos armazenados a 25 °C</i> .....	31
1.3.4.1 <i>Análises não-destrutivas</i> .....	31
1.3.4.2 <i>Análise destrutiva</i> .....	34
1.4 CONCLUSÕES .....	37
1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	37
CAPÍTULO 2. <i>Evolução da cor da periderme, teor de licopeno, sólidos solúveis totais e ph dos frutos de tomateiro armazenados em duas temperaturas.</i>	43
2.1 INTRODUÇÃO .....	43
2.2 MATERIAL E MÉTODOS .....	45
2.2.1 <i>Matéria-prima</i> .....	45
2.2.2 <i>Aplicação do esforço de compressão e condições de armazenamento</i> .....	46
2.2.3 <i>Análises</i> .....	47
2.2.3.1 <i>Avaliação da cor</i> .....	47
2.2.3.1.1 <i>Quantificação das diferenças colorimétricas</i> .....	48
2.2.3.2 <i>Avaliação do teor de licopeno</i> .....	48
2.2.3.3 <i>Determinação do teor de sólidos solúveis totais</i> .....	49

2.2.3.4	<i>Determinação do pH</i> .....	49
2.2.4	<i>Análise estatística</i> .....	49
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	50
2.3.1	<i>Amadurecimento a 25 °C</i> .....	50
2.3.1.1	<i>Evolução da cor da periderme dos tomates</i> .....	50
2.3.1.1.1	<i>Diferenças da cor da periderme dos tomates</i> .....	59
2.3.1.2	<i>Alterações químicas dos tomates</i> .....	63
2.3.2	<i>Conservação a 15 °C</i> .....	70
2.3.2.1	<i>Evolução da cor da periderme dos tomates</i> .....	71
2.3.2.1.1	<i>Diferenças da cor da periderme dos tomates</i> .....	80
2.3.2.2	<i>Alterações químicas dos tomates</i> .....	85
2.4	CONCLUSÕES .....	89
2.5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90
	CONCLUSÕES GERAIS .....	95

## RESUMO

OLIVEIRA, Gabriel Henrique Horta de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Fevereiro de 2010. **Características físico-químicas do tomate submetido a esforço controlado de compressão.** Orientador: Paulo Cesar Corrêa. Co-Orientadores: Fernando Luiz Finger e Paulo Roberto Cecon.

O objetivo deste trabalho foi avaliar as alterações físicas e químicas decorrentes do efeito de uma força controlada sobre os frutos de tomateiro, posteriormente armazenados a 15 e 25 °C durante 18 dias. Buscou-se ainda estudar e modelar o comportamento dos frutos submetidos ao teste de relaxação. Foram utilizados frutos de tomateiro cv. Pizzadoro, obtidos de uma plantação comercial da cidade de Coimbra (MG). Foi utilizada uma massa de 5 kg sobre quinze frutos colocados dentro de uma caixa de madeira de 23x20x20 cm, resultando em um peso por unidade de área de 12,5 g cm<sup>-2</sup> simulando o que ocorre aos frutos em uma caixa comercial de madeira do tipo “k”. Para as análises de textura, foram utilizados os testes de compressão, relaxação e punção nos frutos de tomateiro a cada dois dias de armazenamento. As análises de pH, sólidos solúveis totais e licopeno também foram realizadas com uma periodicidade de dois dias. A perda de massa e a avaliação da coloração dos tomates foram realizadas diariamente. Para a modelagem do processo de relaxação utilizou-se o modelo generalizado de Maxwell. Para avaliar a textura, foram determinadas as propriedades mecânicas: força para uma deformação específica de 0,005 m, módulo proporcional de deformidade e energia necessária para a deformação do produto através da avaliação da curva força-deformação; força de penetração da periderme dos tomates e energia necessária para este processo. De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que: (a) as alterações estruturais causadas pela compressão induzida nos frutos de tomateiro alterou significativamente apenas a força de penetração da periderme dos frutos de tomateiro; (b) o modelo generalizado de Maxwell se ajustou adequadamente aos dados observados para todas as condições utilizadas; (c) as propriedades mecânicas dos frutos de tomateiro diminuíram durante o armazenamento. Os valores encontrados para a firmeza dos frutos armazenados a 15 °C variaram entre 34,68 e 21,24 N; do módulo proporcional de deformidade entre 40,62 e 24,99 MPa; energia, 79,86 a 50,92 mJ; força de penetração da periderme entre 21,33 e 11,04 N e a energia para rompê-la entre 73,12 a 44,13 mJ. Já para os frutos armazenados a 25 °C, os valores de firmeza obtidos foram entre 32,96 e 19,79 N; módulo proporcional de deformidade entre 38,61 e 22,90 MPa;



energia entre 74,78 e 46,99 mJ; força de penetração da periderme entre 22,76 e 11,18 N, e os valores encontrados de energia para romper a periderme variou de 78,37 a 39,00 mJ; (d) a perda de massa diferiu significativamente entre a testemunha e o tratamento e durante o armazenamento, sendo que os tomates armazenados a 25 °C obtiveram maiores valores deste parâmetro; (e) verificou-se diferenças significativas entre o tratamento e a testemunha para a diferença total de cor e os índices colorimétricos croma e ângulo hue, para os frutos armazenados em ambas as temperaturas; (f) os teores de licopeno aumentaram durante o armazenamento, sendo que somente os frutos armazenados a 25 °C apresentaram diferenças entre a testemunha e o tratamento. Os valores encontrados variaram entre 2,25 a 145,17  $\mu\text{g g}^{-1}$  e 3,30 a 95,01  $\mu\text{g g}^{-1}$  para os tomates a 15 e 25 °C, respectivamente; e (g) os valores de sólidos solúveis totais e de pH somente apresentaram diferenças entre os frutos testemunha e tratamento para a temperatura de 25 °C.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Gabriel Henrique Horta de, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2010. **Physico-chemical characteristics of tomato submitted to a controlled compression effort.** Adviser: Paulo Cesar Corrêa. Co-Advisers: Fernando Luiz Finger and Paulo Roberto Cecon.

The aim of this work was to evaluate the physical and chemical alterations due to the effect of a controlled force over tomato fruits stored at 15 and 25 °C during 18 days, as well to study and model the fruits behavior during the relaxation test. Tomato fruits cv. Pizzadoro were used, obtained from a commercial plantation of Coimbra (MG) city area. A mass of 5 kg was used upon fifteen fruits inside of a wooden box of 23x20x20 cm, resulting in a weight per unit area of 12.5 g cm<sup>-2</sup>, simulating the real process that occurs in a commercial wooden box type “k”. Textural analyses were made from compression, relaxation and puncture tests on the tomato fruits every two days of storage. Analysis of pH, total soluble solids and lycopene were also accomplished every two days. Weight loss and color evaluation of the tomatoes were made daily. To model the relaxation process, the Maxwell generalized model was used. Using the information gathered from the texture results, the following mechanical properties were obtained: force to obtain a specific deformation of 0.005 m, proportional deformity modulus and the required energy to deform the product through evaluation of force-deformation curve; penetration force of the tomato skin and the energy required to do so. According to the obtained results, it was concluded that: (a) The structural alterations caused by the induced compression on the tomato fruits significantly altered solely the penetration force of the tomato skin; (b) the Maxwell generalized model fitted to the observed data in all conditions utilized; (c) the mechanical properties studied significantly decreased during storage. The values obtained for firmness of fruits stored under the temperature of 15 °C varied between 34.68 and 21.24 N; proportional deformity modulus between 40.62 and 24.99 MPa; energy, 79.86 to 50.92 mJ; periderm penetration force between 21.33 to 11.04 N and the energy to break it between 73.12 and 44.13 mJ. On the other hand, for fruits stored at 25 °C, the firmness values obtained were between 32.96 and 19.79 N; proportional deformity modulus between 38.61 and 22.90 MPa; energy between 74.78 and 46.99 mJ; periderm penetration force between 22.76 and 11.18 N, and the values encountered for energy to break the periderm varied between 78.37 and 39.00 MPa; (d) weight loss varied significantly among control and treatment fruits and

during storage, being that stored fruits at 25 °C obtained higher values of this parameter; (e) significant differences between control and treatment fruits were obtained for color total difference and colorimetric indices chroma and hue angle, at both temperatures; (f) lycopene content increased during the storage time, being that solely the fruits stored at 25 °C presented differences among control and treated fruits. The values encountered varied between 2.25 and 145.17  $\mu\text{g g}^{-1}$  and 3.30 and 95.01  $\mu\text{g g}^{-1}$  for tomatoes stored at 15 e 25 °C, respectively; and (g) the total soluble solid and pH values presented differences among control fruits and treated fruits stored under 25 °C.

## INTRODUÇÃO GERAL

O tomate (*Solanum lycopersicon* L.) está entre as hortaliças mais consumidas no mundo, sendo fonte de vitaminas A e C e de sais minerais como potássio e magnésio. É um fruto originário dos países andinos, desde o norte do Chile até a Colômbia. Pertence à família das Solanáceas, como o pimentão, o jiló, a berinjela e a batata, e destina-se ao consumo *in natura* (tomate de mesa) e para a indústria de processamento da polpa.

O Brasil é um dos grandes produtores do fruto, sendo o nono maior produtor mundial representando cerca de 2,66 % do total produzido em 2007, superado pela China, Estados Unidos, Turquia, Índia, Egito, Itália, Iran e Espanha, com respectivamente 26,6, 9,1, 7,8, 6,8, 5,9, 4,7, 3,9 e 2,8 % (FAO, 2007). No Brasil, os estados de Goiás, São Paulo e Minas Gerais lideram o plantio, com respectivamente 23,9, 21,2 e 12,5 % da produção nacional, que é de aproximadamente quatro milhões de toneladas, em 62.500 ha plantados (IBGE, 2008).

O tomate é um fruto climatérico, apresentando curto período de amadurecimento, com características de cor, firmeza, aroma e sabor alteradas ao longo da vida de prateleira. O fruto constitui-se basicamente de água (entre 93 e 95 %), sendo a matéria seca constituída de açúcares, minerais, carotenóides e vitamina C (Davies & Hobson, 1981), podendo variar o teor destes constituintes de acordo com as cultivares.

Assim como inúmeros produtos hortifrutigranjeiros, o cultivo do tomate é uma cultura de alto risco, já que engloba perdas consideráveis desde o plantio até o consumidor final. As principais causas de perdas são a demora na comercialização; baixa qualidade inicial do produto; injúrias mecânicas (amassamentos, cortes); doenças; transporte inadequado, com a utilização, na maioria das vezes, da caixa de madeira do tipo “k”; falta de orientação do mercado quanto à logística de vendas, e danos nos frutos causados pelo manuseio dos consumidores. Estes danos acabam por afetar o valor

comercial do tomate, diminuindo a aceitabilidade pelos consumidores e os lucros dos produtores.

No Brasil ainda se utiliza a caixa convencional de madeira para o transporte de frutos e hortaliças. Neste tipo de transporte os tomates são dispostos aleatoriamente e posteriormente as caixas são empilhadas, tanto durante a produção e colheita dos frutos, como, também, durante o transporte e a disposição final ao consumidor. Jones et al. (1991) mencionam que o produto sofre o esforço de compressão da embalagem durante a passagem por um obstáculo da rodovia. Tendo isso em vista, trabalhos com o objetivo de simular as condições do transporte de tomates são fundamentais para a diminuição da danificação dos frutos e conseqüentemente manutenção de sua qualidade e preço.

Para diminuir as perdas e normalizar a oferta é feito o armazenamento dos frutos em câmaras com temperaturas controladas. De acordo com a literatura, tanto a temperatura como a umidade relativa afetam o estagio de amadurecimento de frutas e hortaliças (Barret et al., 2005). Contudo, trabalhos que relacionem os efeitos de diferentes temperaturas à danificação mecânica são escassos.

Para os frutos consumidos *in natura* ou conhecidos como tomates de mesa, a textura e a coloração dos frutos são os atributos de qualidade mais importantes para o valor de mercado deste produto (Liu et al., 2009). Para tomates minimamente processados, Lana et al. (2005) concluíram que o aumento da temperatura acarreta em uma maior taxa de perda de textura e aumento da velocidade de amadurecimento dos frutos. Há recentes evidências de que os consumidores vêm buscando produtos com maior qualidade nutricional e com características organolépticas específicas. Sendo assim, o conteúdo dos carotenóides vem se tornando particularmente importante, não por apenas definir a coloração do produto, mas também pelos seus benefícios à saúde humana (Galiana-Balaguer et al., 2004; Liu et al., 2009). Recentemente constatou-se que a utilização dos tomates para suprir a necessidade de licopeno na alimentação humana é mais eficiente na prevenção de certos tipos de câncer do que a administração do licopeno purificado via cápsulas (Boileau et al., 2003).

Apesar de diversos autores (Sharma & Le Maguer, 1996; Lin & Chen, 2005; Soto-Zamora et al., 2005; Javanmardi & Kubota, 2006; Arazuri et al., 2007; Ordóñez-Santos et al., 2009) terem avaliado as alterações químicas dos frutos de tomateiro ao longo do armazenamento em diferentes temperaturas, não se encontrou na literatura trabalhos acerca destas alterações devido ao esforço de compressão sofrido pelos frutos no transporte.

A cor é normalmente utilizada como indicador da vida de prateleira dos frutos durante o amadurecimento dos mesmos. O estagio de amadurecimento dos frutos pode ser correlacionado com a cor, analisada objetivamente por diferentes sistemas, sendo que o sistema CIE 1976, que utiliza as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , é o mais difundido no meio científico em razão de sua fácil mensuração através de colorímetros. O grau de coloração pode também ser avaliado visualmente, porém, este método gera controvérsias devido à sua subjetividade e dependência direta de critérios do avaliador, bem como de diferentes normas de classificação entre estados e países.

O estudo da textura dos alimentos é de fundamental importância por ser uma característica para decisão da época da colheita, para prevenção de danos mecânicos (opção do tipo de colheita e transporte, dimensionamento de maquinário e métodos de recepção), na seleção da matéria-prima (exportação, indústria de extrato de tomate, feiras livres etc), na quantificação das alterações físicas resultantes do processamento, no desenvolvimento de produtos e no controle de qualidade.

A análise de textura como índice de qualidade em frutos do tomateiro é bastante aplicada, principalmente em estudos dos efeitos da temperatura e umidade relativa de armazenamento do produto, assim como em frutos com danos mecanicamente induzidos durante a colheita. No entanto, informações que abordam a avaliação da textura dos frutos influenciada por um esforço de compressão, simulando o transporte dos produtos, são escassas ou inexistentes.

Os tomates, sendo frutos climatéricos, sofrem numerosas transformações físico-químicas, bioquímicas e microbiológicas durante o seu armazenamento, induzindo e acelerando o processo de amadurecimento e reduzindo sua vida pós-colheita. Estas mudanças são acompanhadas por flutuações no seu preço de mercado, devido à perda de massa, degradação e alterações no sabor e aroma dos frutos. Por outro lado, há uma crescente preocupação por parte dos consumidores e produtores com relação à disponibilidade de produtos agrícolas por um maior período de tempo com mínimas alterações nos seus atributos de qualidade. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho verificar o efeito do esforço de compressão controlado sobre o amadurecimento e as propriedades físico-químicas dos frutos do tomateiro, possibilitando uma melhor compreensão dos efeitos do manejo pós-colheita de tomates sobre a qualidade dos mesmos, permitindo assim uma melhor conservação deste produto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAZURI, S.; JARÉN, C.; ARANA, J.I.; PÉREZ DE CIRIZA, J.J. Influence of mechanical harvest on the physical properties of processing tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 1, p. 190 – 198, 2007.

BARRET, D.M.; SOMOGYI, L.P.; RAMASWAMY, H. **Processing fruits**. Boca Raton: CRC Press, 2005. 841p.

BOILEAU, T.W.; LIAO, Z.M.; KIM, S.; LEMESHOW, S.; ERDMAN, J.W.; CLINTON, S.K. Prostate carcinogenesis in N-methyl-N-nitrosourea (NMU)-testosterone-treated rats fed with tomato powder, lycopene, or energyrestricted diets. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 95, n. 21, p.1578 – 1586, 2003.

DAVIES, J.N.; HOBSON, G.E. The constituents of tomato fruit – the influence of environment, nutrition, and genotype. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 15, n. 3, p. 205 – 208, 1981.

FAO - Food and Agricultural Organization of the United Nations. FAOSTAT Database 2007. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: maio 2009.

GALIANA-BALAGUER, L.; ROSELLÓ, S.; NUEZ, F. Flavour improvement in tomato. **Recent Research Developments in Crop Science**, v. 1, p. 147 – 163, 2004.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default.shtm>>. Acesso em: fevereiro 2009.

JAVANMARDI, J.; KUBOTA, C. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 41, p. 151 – 155, 2006.

JONES, C.S.; HOLT, J.E.; SCHOORL, D. A model to predict damage to horticultural produce during transport. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 50, p. 259 – 272, 1991.

LANA, M.M.; TIJSKENS, L.M.M.; VAN KOOTEN, O. Effects of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 35, p. 87 – 95, 2005.

LIN, C.H.; CHEN, B.H. Stability of carotenoids in tomato juice during storage. **Food Chemistry**, v. 90, n. 4, p. 837 – 846, 2005.

LIU, L.H.; ZABARAS, D.; BENNETT, L.E.; AGUAS, P.; WOONTON, B.W. Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. **Food Chemistry**, v. 115, p. 495 – 500, 2009.

ORDÓÑEZ-SANTOS, L.E.; VÁZQUEZ-ODÉRIZ, L.; ARBONES-MACIÑEIRA, E.; ROMERO-RODRÍGUEZ, M.A. The influence of storage time on micronutrients in bottled tomato pulp. **Food Chemistry**, v. 112, p. 146 – 149, 2009.

SOTO-ZAMORA, G.; YAHIA, E.M.; BRECHT, J.K.; GARDEA, A. Effects of postharvest hot air treatments on the quality and antioxidant levels in tomato fruit. **LWT – Food Science and Technology**, v. 38, n. 6, p. 657 – 663, 2005.

SHARMA, S.K.; LE MAGUER, M. Kinetics of lycopene degradation in tomato pulp solids under different processing and storage conditions. **Food Research International**, v. 29, n. 3 - 4, p. 309 – 315, 1996.



## CAPÍTULO 1

### *Variação das propriedades texturais dos frutos de tomateiro submetidos ao esforço de compressão durante o armazenamento em duas diferentes temperaturas*

#### 1.1 INTRODUÇÃO

Depois da aparência, o maior fator impactante na qualidade de tomates é a sua textura. A análise da textura de alimentos se baseia num conjunto de propriedades mecânicas, geométricas e das características superficiais de um produto, perceptíveis pelos receptores mecânicos, táteis e, em certos casos, por receptores visuais e auditivos. É caracterizada por diferentes aspectos, como por exemplo, a firmeza, a fibrosidade, a resistência, a elasticidade e outros (Chitarra & Chitarra, 2005), sendo que suas propriedades se alteram durante o processo de amadurecimento (Chen & Ramaswamy, 2002).

Os danos mecânicos no tomate ocorrem ao longo de toda a cadeia produtiva. Os pontos críticos seriam durante a colheita, transporte e manuseio dos frutos, podendo acarretar desde o rompimento até danos imperceptíveis a olho nu, afetando assim, a sua qualidade física, fisiológica e nutricional, não apenas no seu armazenamento para destinação final no varejo, mas também no seu processamento durante a industrialização. Assim, as análises das propriedades texturais podem ser consideradas ferramentas de fundamental interesse para se avaliar as características físicas do tomate, tanto daqueles destinados ao consumo *in natura* como aqueles com fins industriais, durante todas as etapas de processamento.

A textura é afetada pela perda de massa dos frutos, bem como a composição química da periderme e da polpa dos frutos (Oliveira et al., 2010). A perda de massa é um processo que ocorre, principalmente, pela perda de água promovida pelo processo de transpiração em consequência do déficit de pressão de vapor da superfície do fruto (Hertog et al., 2004), variando com o tempo e as condições de armazenamento. Ela leva ao amolecimento dos tecidos, tornando os frutos mais suscetíveis às deteriorações e a alterações na cor e sabor.

Segundo Schouten et al. (2007), o comportamento da firmeza com o tempo é de natureza bioquímica (processos relativos à decomposição da parede celular) e de natureza física (perda de turgescência dependente da temperatura). Além da desidratação, os tomates possuem uma taxa de amolecimento dos tecidos relativamente alta, resultado da solubilização das substâncias pécticas que compõem a parede celular (Kluge & Minami, 1997). Com o decorrer do amadurecimento, estas substâncias vão sendo solubilizadas, transformando a pectina insolúvel (protopectina) em pectina solúvel, resultando no amaciamento da polpa (Cheftel & Cheftel, 1976; Braverman, 1980). Essa perda de firmeza ocorre devido à diminuição das forças coesivas que mantêm as células unidas, decorrente da decomposição da protopectina através de atividade enzimática. Desse modo, o estudo do comportamento da textura ao longo do tempo pode fornecer informações que servirão de parâmetro de escolha da cultivar e época de colheita, além de indicar o tempo de vida pós-colheita dos produtos.

As propriedades de textura, segundo Muller (1969), citado por Bourne (2002), podem ser subdivididas em dois grupos: a reologia e os aspectos sensoriais. Este último descreve a percepção do comportamento mecânico dos materiais, porém tem como inconvenientes o elevado custo e tempo de resposta, bem como a necessidade da criação e manutenção de um quadro de provadores, tornando-se um método inapropriado para análises rotineiras.

Então, embora a textura de alimentos seja uma propriedade sensorial (portanto subjetiva), a mensuração pode ser realizada através de métodos objetivos acerca das propriedades reológicas dos produtos (Kramer & Szczesniak, 1973). A avaliação física da textura de frutos inteiros não é de fácil mensuração, visto que os frutos são produtos de formas irregulares, que variam fortemente entre indivíduos, com características morfológicas heterogêneas e com o desenvolvimento do amadurecimento dos frutos de forma irregular.

Os métodos de medida de textura em alimentos sólidos se decompõem em três: os fundamentais, os empíricos e os imitativos (Borwnkar, 1992; Wilkinson et al., 2000). Os métodos empíricos relacionam variáveis com atributos mecânicos, enquanto que os imitativos buscam reproduzir condições de consumo (Bourne, 2002). Os métodos fundamentais se baseiam nas propriedades reológicas, ou seja, no estudo da mecânica de deformação e das leis da física, e se caracterizam pelas pequenas deformações utilizadas (1 a 3 %), amostras perfeitamente quantificáveis, uniformidade e isotropia (Errington et al., 1997; Bourne, 2002). São três os parâmetros utilizados para o uso dos métodos fundamentais: força, deformação e tempo. Apesar destes métodos serem baseados em leis conhecidas e propriedades bem definidas, sua utilização é restrita devido à falta de condições ideais dos testes, influenciadas por forças de fricção (superfícies lubrificadas ou não), velocidade de deformação e dimensões da amostra.

A relação da textura dos frutos com o estágio de amadurecimento pode ser obtida por meio de testes físicos e imitativos, que envolvem a ruptura do produto analisado (Voisey, 1971). Entretanto, estes testes têm o inconveniente de serem destrutivos, impossibilitando a análise da textura do mesmo produto ao longo do tempo. Punção e cisalhamento são os principais testes destrutivos para a avaliação da textura em alimentos (Abbott, 1999; Bourne, 2002). Por outro lado, desenvolveram-se testes alternativos não-destrutivos, em que pequenas deformações (menor que 10 % do tamanho da amostra) são empregadas para a análise da textura de produtos. A compressão e a relaxação são os principais testes não-destrutivos. Ambas as análises destrutivas e não-destrutivas possibilitam a aquisição de dados relativos à consistência e resistência dos tecidos vegetais mediante a aplicação de uma força qualquer, relacionando-a com uma deformação específica ou com o tempo total de teste.

A firmeza dos frutos tem sido frequentemente utilizada como indicador de qualidade, bem como na caracterização das propriedades mecânicas, químicas e reológicas do fruto (Mohsenin, 1986; Lien et al., 2009). Os testes de compressão e penetração demonstram uma relação satisfatória com as condições reais e são amplamente utilizados para estimar a firmeza dos frutos por meio de um perfil de força-deformação (Lien et al., 2009), sendo que segundo Errington et al. (1997), menores níveis de compressão acarretam em maior reprodução do real processo de amadurecimento.

A relaxação é um importante teste para a avaliação da textura de alimentos, usualmente utilizado para o estudo do comportamento viscoelástico de materiais

biológicos (Cespi et al., 2007; Bellido & Hatcher, 2009a,b), sendo a modelagem um instrumento matemático fundamental para análise deste comportamento (Del Nobile et al., 2007; Sadowska et al., 2009; Fustier et al., 2009; Olivera & Salvadori, 2009).

De acordo com Resende e Corrêa (2007), a modelagem matemática é crucial na predição e simulação do comportamento dos materiais submetidos a determinado processo. Modelos específicos podem descrever satisfatoriamente a variação dos parâmetros reológicos durante o amadurecimento dos frutos, fornecendo não somente índices práticos de textura, como também características subjacentes aos processos de amadurecimento.

Dois tipos de modelos são empregados na predição dos fenômenos estudados, os teóricos e os empíricos. Os primeiros, baseados em leis e teorias, são complexos e envolvem parâmetros que na maioria dos casos não são adequados para práticas computacionais (Maskan, 2002). Por outro lado, apesar de não possuírem fundamentação teórica, os modelos empíricos são simples e de fácil aplicação, baseados em dados experimentais, análises adimensionais e métodos estatísticos.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho:

- ✓ Verificar a influência do esforço de compressão sobre as propriedades texturais dos frutos de tomateiro, durante o armazenamento; e,
- ✓ Modelar o processo de relaxação dos frutos de tomateiro ao longo do armazenamento.

## **1.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), localizado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, MG.

### *1.2.1 Matéria-prima*

Foram utilizados frutos de tomateiro, cultivar Pizzadoro, provenientes de uma unidade de produção convencional da cidade de Coimbra, MG. Colhidos manualmente

no estágio de maturação verde maduro, segundo critérios de classificação do Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura (2003), e com os devidos cuidados para evitar qualquer tipo de danificação mecânica no produto. Os tomates foram posteriormente selecionados, retirando-se frutos com qualquer sintoma visível de deformações, doenças e outros, com a finalidade de se obter uma matéria-prima homogênea e de alta qualidade.

### *1.2.2 Aplicação do esforço de compressão e condições de armazenamento*

Após a seleção, os frutos foram divididos em dois lotes. No primeiro simulou-se a condição de transporte do produto (TRAT), em que os tomates são colocados em caixas tipo “k” que são posteriormente empilhadas. Para esta simulação, utilizou-se uma compressão por 48 h. O segundo lote serviu como testemunha (TE) (sem compressão). Posteriormente, os frutos foram armazenados em duas temperaturas:  $15 \pm 1$  °C (temperatura recomendada para o armazenamento de tomates) e à temperatura ambiente de  $25 \pm 1$  °C, por dezoito dias, em câmaras tipo BOD. A umidade relativa no interior das câmaras foi mantida em  $85 \pm 5$  %. As análises dos frutos foram realizadas após o acondicionamento dos frutos por 2 h sob temperatura ambiente, para se evitar os efeitos da temperatura de armazenagem na medição dos parâmetros.

Para realizar o tratamento nos tomates buscou-se conhecer a massa por unidade de área da caixa de madeira do tipo “k”, encontrando-se o valor de  $12,5 \text{ g cm}^{-2}$ . Deste modo, calcularam-se as dimensões de uma caixa de madeira (23x20x20 cm), sendo que estas dimensões resultaram em uma massa necessária de 5 kg para se manter o valor encontrado de massa por unidade de área da caixa “k”. Esta massa foi então aplicada sobre três fileiras de tomates sobrepostas com um dado arranjo que totalizou quinze frutos por caixa. A caixa utilizada pode ser visualizada na Figura 1.1.

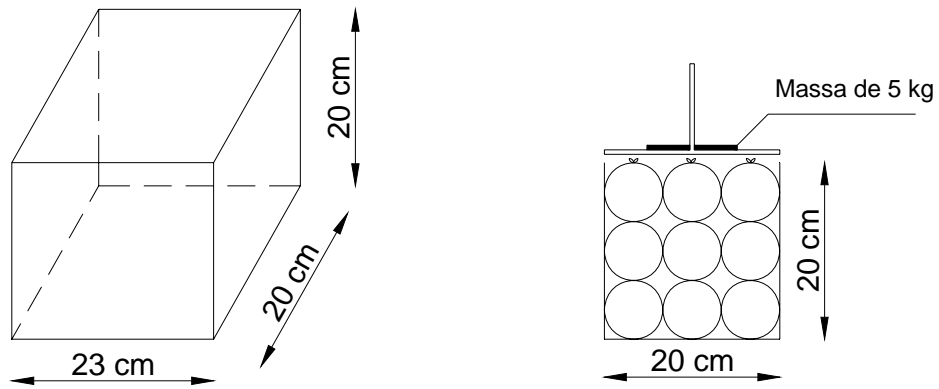


Figura 1.1. Protótipo da caixa de madeira utilizada, vistas 3D (esquerda) e lateral (direita).

### 1.2.3 Análises

#### 1.2.3.1 Perda de massa

A porcentagem de perda de massa dos frutos de tomate foi determinada por meio da diferença de massa no tempo analisado em relação ao tempo zero (Equação 1.1). As amostras foram pesadas diariamente em cada temperatura utilizada.

$$P = \frac{M_{(t=0)} - M_{(t=t)}}{M_{(t=0)}} \times 100 \quad (1.1)$$

Em que:

$P$ : perda de massa, %;

$M_{(t=0)}$ : massa do fruto no tempo zero, g;

$M_{(t=t)}$ : massa do fruto no tempo t, g.

#### 1.2.3.2 Avaliação da textura

A textura dos frutos foi avaliada por meio de ensaios de compressão, relaxação e punção, realizados em um Aparelho Universal de Testes, *TA.HD Texture Analyser*, *Stable Micro Systems*, também conhecido como texturômetro, dotado do *software Texture Expert for Windows*<sup>®</sup> com uma célula de carga de 500 N.

Os testes nos frutos de tomate foram realizados ao longo do armazenamento para cada temperatura, em intervalos de tempo de dois dias. Foram analisados os quinze tomates de cada condição, que foram submetidos aos testes individualmente na posição de repouso do fruto. Baseado em testes preliminares foi utilizada uma deformação específica de 0,005 m através dos testes de compressão e relaxação, para o cálculo das propriedades mecânicas dos frutos de tomateiro em cada situação investigada.

Para o teste de compressão foi utilizado um probe de prato plano circular com 100 mm de diâmetro e a uma velocidade de teste de  $0,02 \text{ m min}^{-1}$  (Van Dijk et al., 2006; Batu, 2004). Com a obtenção das curvas de compressão do produto (força em função da deformação), foram estimados os valores da força máxima sustentada pelo fruto (firmeza) e sua respectiva deformação.

O módulo proporcional de deformidade, que permite que comparações de resistência relativas entre diferentes materiais sejam feitas, foi calculado utilizando-se a expressão da ASAE (1994), alterada por Couto et al. (2002):

$$E_p = \frac{E}{1 - \mu^2} = \frac{0,531F}{D^{3/2}} \left[ 2 \left( \frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \quad (1.2)$$

Em que:

$E_p$ : módulo proporcional de deformidade, Pa;

$E$ : módulo de deformidade, Pa;

$F$ : força, N;

$\mu$ : razão de Poisson;

$r$ : raio de curvatura no ponto de contato, m;

$R$ : raio equivalente do produto, m; e

$D$ : deformação total (elástica e plástica) do corpo nos pontos de contato com a placa superior e inferior, m.

O raio equivalente ( $R$ ) e o de curvatura ( $r$ ) dos frutos foram obtidos segundo as equações 1.3 e 1.4 (Silva et al., 2002), em que os tomates foram considerados como elipsóides biaxiais. A medição dos eixos médios ortogonais dos frutos foi realizada com auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm.

$$R \cong \frac{\sqrt[3]{ab^2}}{2} \quad (1.3)$$

$$r \cong \frac{b}{2} \quad (1.4)$$

Em que:

$a$ : maior dimensão característica do fruto, m; e,

$b$ : menor dimensão característica do fruto, m.

Para o teste de relaxação, o mesmo probe utilizado no teste de compressão foi empregado com uma velocidade de  $0,02 \text{ m min}^{-1}$  (Errington et al., 1997), durante 20 s.

Para o teste de punção, um probe cilíndrico de 4 mm de diâmetro a uma velocidade de  $0,1 \text{ m min}^{-1}$  foi utilizado (Desmet et al., 2004). Os testes de punção forneceram as forças de rompimento da periderme dos tomates e a deformação requerida para este rompimento.

### 1.2.3.3 Modelagem do processo de relaxação

Para a modelagem das curvas de relaxação do tomate, empregou-se o modelo generalizado de Maxwell de quatro parâmetros contendo três elementos de Maxwell (Steffe, 1996), descrito pela Equação 1.5.

$$\sigma_{(t)} = \sigma_e + A_1 \exp\left(\frac{-t}{\tau_1}\right) + A_2 \exp\left(\frac{-t}{\tau_2}\right) + A_3 \exp\left(\frac{-t}{\tau_3}\right) \quad (1.5)$$

Em que:

$\sigma_{(t)}$ : força normalizada (razão entre a força no tempo  $t$  e a força máxima) no tempo  $t$ , adimensional;

$\sigma_e$ : força normalizada no equilíbrio ( $t = \infty$ ), adimensional;

$A_1, A_2, A_3$ : constantes do modelo, adimensionais;

$t$ : tempo, s; e

$\tau_1, \tau_2, \tau_3$ : tempo de relaxação, s.



#### 1.2.4 Análise estatística

O experimento foi realizado, para cada temperatura, em um esquema fatorial 2x18 (dois tratamentos e dezoito tempos) para a análise de perda de massa, no delineamento inteiramente casualizado, em dez repetições para a análise. Para a análise de textura foi utilizado um esquema fatorial de 2x9 (dois tratamentos e nove tempos), em cada temperatura, em um delineamento inteiramente casualizado, em dez repetições para as análises. Os dados experimentais foram interpretados por meio de análise de variância e regressão.

Entre a testemunha e o tratamento, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando o nível de 5 % de probabilidade, utilizando-se o programa SAEG<sup>®</sup>. Para a comparação do tempo de armazenamento, as médias foram submetidas à análise de regressão. Os modelos foram escolhidos baseados no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), na significância dos parâmetros e nos fenômenos em estudo.

Para verificar o grau de ajuste do modelo generalizado de Maxwell, foi considerada a magnitude do coeficiente de determinação ( $R^2$ ), do erro médio relativo ( $P$ ) (Equação 1.6), do desvio padrão da estimativa ( $SE$ ) (Equação 1.7) e da distribuição dos resíduos.

$$P = \frac{100}{n} \sum \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (1.6)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{GLR}} \quad (1.7)$$

Em que:

$P$ : erro médio relativo, %;

$Y$ : valor observado experimentalmente;

$\hat{Y}$ : valor estimado pelo modelo;

$n$ : número de dados observados;

$SE$ : desvio padrão da estimativa, adimensional; e

$GLR$ : graus de liberdade do resíduo (número de dados observados menos o número de parâmetros do modelo).

## 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1.3.1 Perda de massa

O tratamento afetou a perda de massa dos frutos de tomateiro ao longo do tempo, diferindo estatisticamente dos frutos testemunha, em ambas as temperaturas utilizadas no experimento (Tabela 1.1).

Tabela 1.1. Valores médios de perda de massa (%) dos frutos de tomateiro, não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão, ao longo do armazenamento, nas temperaturas de 15 e 25 °C.

Tempo (dias)	15 °C		25 °C	
	TE	TRAT	TE	TRAT
0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,17 a	0,12 a	0,28 a	0,26 a
2	0,31 a	0,31 a	0,49 a	0,52 a
3	0,50 a	0,50 a	0,87 a	0,86 a
4	0,59 a	0,63 a	1,07 a	1,16 a
5	0,69 a	0,79 a	1,30 a	1,66 a
6	0,80 a	0,92 a	1,50 a	2,14 a
7	0,97 a	1,03 a	2,04 b	3,40 a
8	1,07 a	1,14 a	2,44 b	4,08 a
9	1,20 a	1,30 a	3,01 b	5,43 a
10	1,34 a	1,54 a	3,46 b	6,34 a
11	1,45 b	1,93 a	4,33 b	9,39 a
12	1,64 b	2,32 a	4,51 b	10,29 a
13	1,80 b	3,83 a	5,87 b	11,92 a
14	1,94 b	4,37 a	6,29 b	14,09 a
15	2,03 b	4,73 a	7,17 b	17,44 a

Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na linha, em cada temperatura, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

De acordo com Andrade Júnior (1999), uma perda de massa equivalente de 3 a 6 % já representa depreciação considerável do produto, dificultando a aceitação do mesmo no mercado. Considerando essa faixa de perda de massa, apenas o tomate armazenado a 15 °C não submetido ao tratamento pode ser considerado comercializável ao final de 15 dias de armazenagem (Tabela 1.1), ao passo que os frutos testemunha e tratamento a 25 °C podem ser armazenados durante 9 e 6 dias, respectivamente. Já os frutos tratados a 15 °C perduram até 12 dias.

Observa-se ainda que, até o 10º dia de armazenamento a 15 °C não existe diferença na perda de massa dos dois lotes de frutos. A partir deste patamar, os frutos tratados apresentaram maior taxa de perda de massa. Já para os frutos armazenados a 25 °C o mesmo fato foi observado até o 6º dia de armazenamento.

As taxas médias diárias de perda de massa para os tomates armazenados a 15 °C foram de 0,14 e 0,32 %, respectivamente para frutos não tratados e tratados, enquanto que os produtos a 25 °C sem compressão foi de 0,48 % e os submetidos à compressão 1,16 %.

A Figura 1.2 demonstra o comportamento da perda de massa dos tomates, ao longo do armazenamento nas duas temperaturas analisadas, para os frutos não submetidos à compressão (testemunha) e para os submetidos à compressão de 48 h (tratamento).

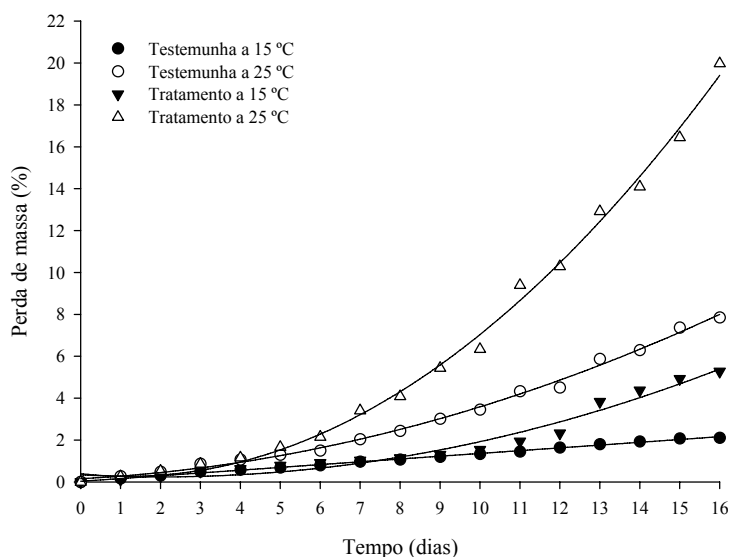


Figura 1.2. Valores observados e estimados de perda de massa dos frutos de tomateiro não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento em duas diferentes temperaturas.

Observa-se na Figura 1.2 que os frutos armazenados a 15 °C, sob o efeito ou não do tratamento, obtiveram menores valores de perda de massa durante o armazenamento do produto quando comparado com os frutos a 25 °C. Em cada temperatura, os frutos tratados obtiveram maiores valores de perda de massa.

Os resultados relativos à perda de massa dos tomates do presente trabalho seguem a tendência de diversas pesquisas com este mesmo produto. Javanmardi e Kubota (2006), armazenando tomates a 12 °C e a temperatura ambiente também observaram que em maiores temperaturas de armazenamento ocorre maior perda de massa. Ferreira et al. (2008), analisando a qualidade do tomate de mesa após diferentes etapas pós-colheita, armazenados à temperatura ambiente, concluíram que frutos retirados diretamente da planta com menor manuseio pós-colheita obtiveram menores taxas de perda de massa. Getinet et al. (2008), também trabalhando com tomates, concluíram que os frutos colhidos em estágio mais avançado de maturação e armazenados em maiores temperaturas obtiveram maiores taxas de perda de massa.

A Tabela 1.2 contém as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de perda de massa ao longo do armazenamento, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2/t^2$ ).

Tabela 1.2. Equações ajustadas aos valores experimentais de perda de massa ( $PM$ ) dos frutos de tomateiro testemunha (TE) e tratamento (TRAT) em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Temperatura (°C)	Tomates	Equação de regressão	$R^2$
15	TE	$\hat{PM} = 0,0317 + 0,1331^{**} t$	0,9970
	TRAT	$\hat{PM} = 0,3460 - 0,1043t + 0,0262^{**} t^2$	0,9637
25	TE	$\hat{PM} = 0,1587 + 0,0976t + 0,0245^{**} t^2$	0,9952
	TRAT	$\hat{PM} = 0,3969 - 0,2093t + 0,0873^{**} t^2$	0,9954

\*\* Significativo a 1 % de probabilidade pelo teste “t”.

Nota-se, na Tabela 1.2, que as equações que relacionam a perda de massa com o tempo de armazenamento apresentaram valores satisfatórios para o coeficiente de

determinação, indicando que houve boa correspondência entre os dados observados e estimados pelas equações propostas.

### 1.3.2 Adequabilidade do modelo generalizado de Maxwell para descrever a relaxação dos frutos de tomate

Os parâmetros estatísticos do modelo generalizado de Maxwell (Equação 1.5) para descrever o processo de relaxação dos tomates estão apresentados na Tabela 1.3.

Tabela 1.3. Valores do desvio padrão da estimativa (SE), erro médio relativo (P), coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e coeficientes ( $\sigma_e$ ,  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$  e  $\tau_3$ ) do modelo generalizado de Maxwell obtidos pelo ajuste aos dados experimentais do processo de relaxação dos frutos de tomateiro submetidos (TRAT) e não-submetidos (TE) à compressão e armazenados em duas temperaturas.

Parâmetros	Temperatura (°C)			
	15		25	
	TE	TRAT	TE	TRAT
$\sigma_e$	0,7141**	0,7158**	0,7036**	0,7083**
$A_1$	0,0424**	0,0446**	0,0467**	0,0461**
$A_2$	0,0773**	0,0789**	0,0840**	0,0826**
$A_3$	0,1643**	0,1589**	0,1674**	0,1607**
$\tau_1$ (s)	0,1740**	0,1726**	0,1730**	0,1746**
$\tau_2$ (s)	1,1533**	1,1502**	1,0982**	1,1275**
$\tau_3$ (s)	10,0179**	10,0985**	9,3819**	9,7739**
SE	0,02	0,02	0,02	0,02
P (%)	1,65	1,36	1,92	1,70
$R^2$	0,9383	0,9550	0,9259	0,9336

\*\* Significativo a 1 % de probabilidade pelo teste “t”.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 1.3, observa-se que o ajuste do modelo generalizado de Maxwell apresentou valores de coeficiente de determinação acima de 92 % e que todos os coeficientes, em todas as condições experimentais, foram significativos, indicando assim um bom ajuste desse modelo aos dados experimentais. Entretanto, o emprego isolado do coeficiente de determinação não deve ser usado como

critério de avaliação de modelos não lineares (Kashaninejad et al. 2007; Cunningham et al., 2007). Sendo assim, foram calculados os valores de  $P$  e  $SE$  (Equações 1.6 e 1.7). De acordo com Draper e Smith (1998), a capacidade de um modelo para descrever fielmente um processo físico é inversamente proporcional aos valores de  $SE$ . Ademais, uma variabilidade dos dados estimados menor que 10 % indica um melhor ajuste de modelos para fins práticos, o que é recomendado para o uso de modelos não lineares (Mohapatra e Rao, 2005; Cunningham et al., 2007). Obtiveram-se valores de  $P$  e  $SE$  satisfatórios, indicando que o modelo representa o comportamento das curvas de relaxação dos tomates ao longo do tempo de armazenamento.

Outros autores, utilizando o modelo de Maxwell com diferentes números de elementos, também reportaram a melhor representação dos dados experimentais de relaxação de diferentes produtos por meio desta equação (Del Nobile et al., 2007; Rodríguez-Sandoval et al., 2009; Sadowska et al., 2009; Bellido & Hatcher, 2009a,b; Bhattacharya, 2010; Campus et al., 2010). Este fato demonstra a larga utilização deste modelo para o estudo das alterações viscoelásticas decorrentes da compressão.

Pelos resultados observados na Tabela 1.3, nota-se que os frutos armazenados a 25 °C são menos elásticos que os frutos armazenados a 15 °C, uma vez que o parâmetro  $\sigma_e$  representa o componente elástico de maior magnitude do modelo (Bellido & Hatcher, 2009b). Logo, maiores valores de  $\sigma_e$  denotam produtos mais elásticos e de melhor qualidade. Ademais, cada conjunto dos coeficientes  $A$  e  $\tau$  retrata a porção da força inicial que decai em um determinado tempo, ou seja, para os tomates TE a 15 °C, por exemplo, a força necessária para manter a deformação de 0,005 m decresce de 4,24 % nos primeiros 0,1740 segundos de análise, e assim sucessivamente.

Para fins ilustrativos, a Figura 1.3 contém os valores observados e estimados por esse modelo das variações da força necessária para se manter uma deformação específica de 0,005 m nos frutos de tomateiro, durante 20 s, para os frutos testemunha armazenados a 15 °C.

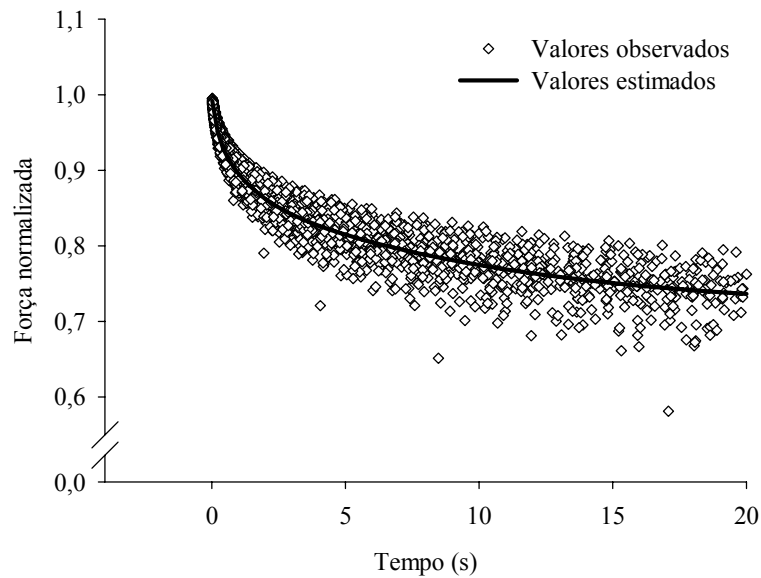


Figura 1.3. Valores observados e estimados pelo modelo generalizado de Maxwell da força requerida para se manter uma deformação específica de 0,005 m nos frutos de tomateiro não submetidos à compressão (testemunha), na temperatura de 15 °C (A).

Diferentes curvas de relaxação dependentes da composição do produto analisado estão apresentadas na Figura 1.4. Comparando esta figura com a Figura 1.3, observa-se que os tomates se comportam como um material sólido viscoelástico, significando que os frutos sofrem simultaneamente deformações elásticas e viscosas durante a compressão. Dessa forma, por serem viscoelásticos, os frutos de tomateiro podem, teoricamente, retornar a sua conformação inicial após sofrerem pequenas deformações. Sendo assim, apesar das práticas pós-colheita resultarem em danificações indesejadas, as mesmas podem ser realizadas desde que de modo adequado (mínimo manuseio).

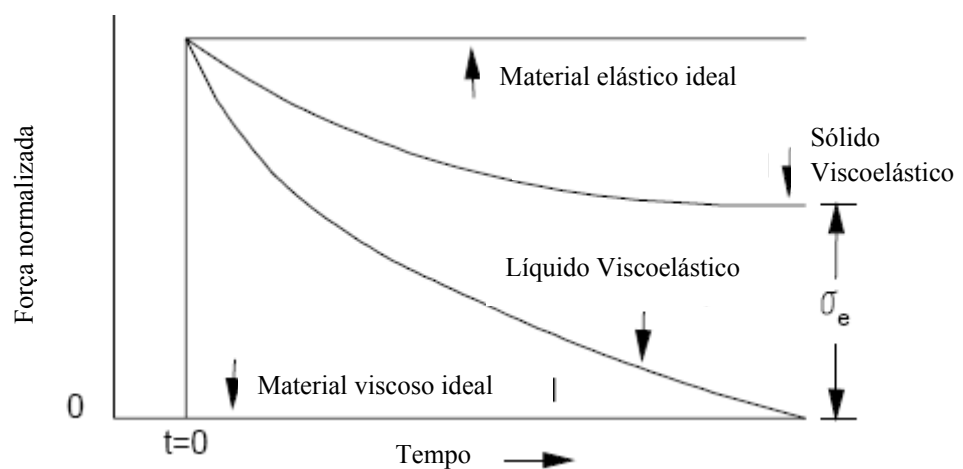


Figura 1.4. Curvas de relaxação (Steffe, 1996).

Os materiais elásticos ideais não relaxam com o tempo, ao passo que um material viscoso ideal relaxaria instantaneamente. Os materiais sólidos viscoelásticos relaxam gradualmente até atingirem uma força de equilíbrio maior que zero, e os líquidos viscoelásticos apresentam uma força residual nula.

### 1.3.3 Propriedades mecânicas dos frutos armazenados a 15 °C

#### 1.3.3.1 Análises não-destrutivas

Por meio do teste de relaxação não foi possível observar diferenças significativas entre a testemunha e o tratamento. No entanto, ocorreu variação das curvas de relaxação durante o armazenamento. A Figura 1.5 ilustra esta diferença.

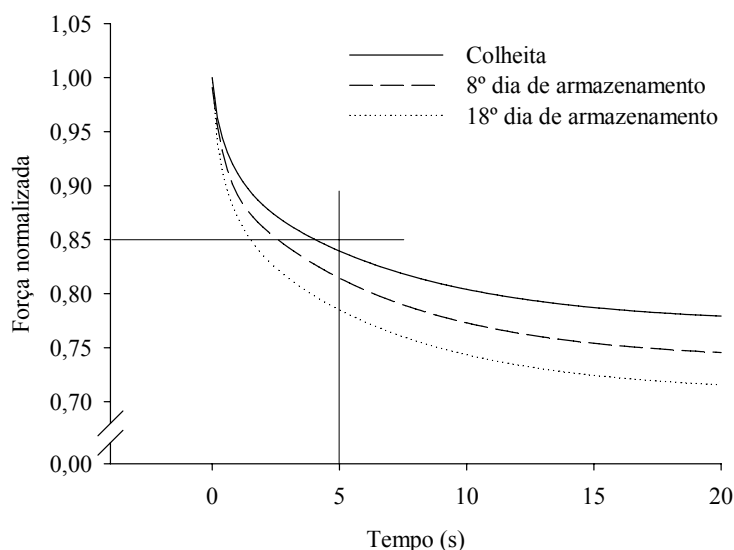


Figura 1.5. Curvas de relaxação em diferentes tempos de armazenamento.

Nota-se, fixando um tempo durante a análise, que os frutos mais verdes e firmes (colheita) apresentam uma maior força normalizada que os frutos mais maduros (18º dia de armazenamento). Além disso, pode-se verificar que o tempo para decair certa quantidade da força inicial é menor para os frutos maduros, fato este facilmente visualizado fixando uma força. Por exemplo, para uma força normalizada de 0,85, os tomates ao final do armazenamento (18º dia) têm um menor tempo para atingir esta força, ao passo que em um tempo de teste de 5 s, os frutos com menor tempo de armazenamento (colheita) são mais firmes devido à maior força normalizada.



Bellido e Hatcher (2009a), estudando as diferenças entre o modelo generalizado de Maxwell e o modelo linearizado de Peleg, concluíram que este último não retrata satisfatoriamente a curva de relaxação. Dessa forma, estes autores propõem um método para estudar as mudanças texturais através da utilização do modelo generalizado de Maxwell para se encontrar duas novas variáveis:  $P^*$  e  $S^*$  (Equações 1.8 e 1.9).

$$P^* = \frac{\sigma_e}{\sigma_{(0)}} \quad (1.8)$$

$$S^* = \frac{S}{S_0} \quad (1.9)$$

Em que:

$P^*$ : grau de dissipação da força aplicada, adimensional;

$S^*$ : grau de elasticidade do produto, adimensional;

$S$ : área abaixo da curva normalizada de relaxação, N s; e,

$S_0$ : área abaixo da curva normalizada de relaxação para um material elástico ideal, N s.

Estes autores ainda relatam que a faixa de variação de  $S^*$  deve ser entre 0 e 1, sendo que maiores valores implicam em produtos mais elásticos. Já para a variável  $P^*$ , também variando entre zero e a unidade, menores valores significam que o produto libera uma maior quantidade da fração inicial da força, indicativo de um material menos elástico. Sendo assim, materiais de melhor qualidade são diretamente proporcionais aos valores de  $S^*$  e  $P^*$ .

Os valores encontrados para  $S^*$  variaram entre 0,7988 e 0,7108 enquanto que para  $P^*$  encontrou-se magnitudes entre 0,7811 e 0,7289. Sendo assim, este método foi condizente com o processo natural de amadurecimento dos frutos de tomateiro, uma vez que com o passar do tempo de armazenagem, os tomates apresentaram um decréscimo de sua elasticidade, expresso pelos menores valores de  $S^*$  e de  $P^*$ .

Através do teste de compressão não foi possível discernir entre os frutos testemunha e tratamento. Por outro lado, o tempo de armazenamento teve um efeito significativo ( $p < 0,05$ ) sobre a força necessária para provocar uma deformação específica de 0,005 m nos tomates.

A Figura 1.6 contém os valores médios observados da força máxima necessária para promover uma deformação específica de 0,005 m nos frutos de tomateiro submetidos a uma compressão uniaxial na posição natural de repouso, em tomates submetidos ao esforço de compressão (tratamento) e não submetidos (testemunha) em diferentes tempos de armazenamento.

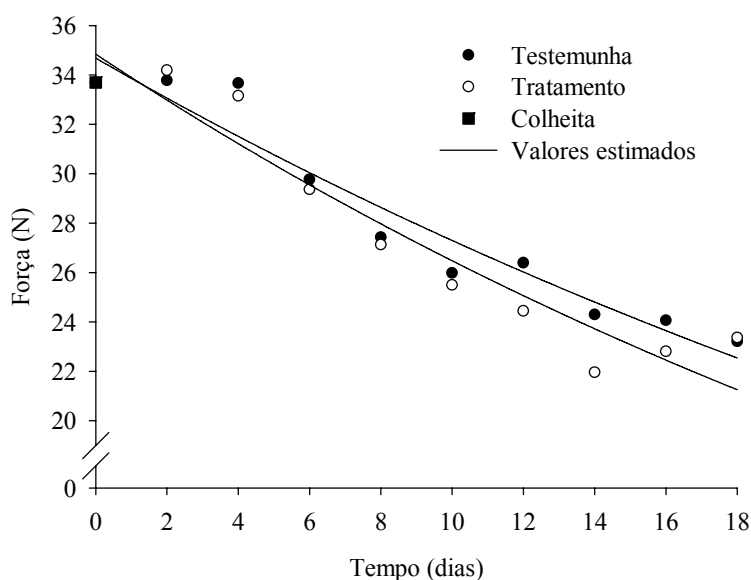


Figura 1.6. Valores médios observados e estimados da firmeza dos frutos de tomateiro, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento na temperatura de 15 °C, para uma deformação específica de 0,005 m.

Nota-se que a firmeza dos frutos, expressa pela força máxima sustentada pelos mesmos para uma dada deformação (Figura 1.6), decresceu durante o armazenamento, variando entre 34,68 e 21,24 N. Esta força é um indicador das propriedades mecânicas, químicas e reológicas do produto (Lien et al., 2009), sendo inversamente proporcional ao amadurecimento dos frutos (Mohsenin, 1986) e portanto pode ser utilizada como indicador do amadurecimento (De Ketelaere et al., 2006). Logo é esperado que a diminuição dos valores de firmeza ao longo do tempo ocorra. Outros autores também relatam a diminuição de firmeza de frutos diversos com o amadurecimento dos mesmos (Hertog et al., 2004; Lana et al., 2005; De Ketelaere et al., 2006; Schouten et al., 2007).

Analisando a Figura 1.6, observa-se que o tratamento nos frutos não foi suficiente para que ocorresse uma perda significativa de firmeza dos tomates. O'Brien e Claypool (1963) relatam que tanto a magnitude da força quanto o número de vezes que ela atua sobre um mesmo ponto acabam por intensificar os danos no produto. As

injúrias de amassamento e/ou ferimentos nos frutos ocorrem principalmente devido às vibrações durante o transporte do tomate (Costa & Filho, 1996), devido à irregularidade das vias rodoviárias, resultando em uma movimentação tangencial, isto é, contato direto entre frutos próximos na embalagem e entre estes e as paredes das embalagens. Dessa forma, como neste trabalho utilizou-se apenas um carregamento uniaxial, sem a simulação dos efeitos de movimentação dos frutos, os mesmos não sofreram um alto nível de danificação necessária para alterar significativamente a textura dos tomates. Pereira e Calbo (2000) também relataram que o tratamento por compressão estática em frutos de tomate resultou em um menor nível de danificação. Portanto, pesquisas futuras são necessárias para averiguar a influência da movimentação tangencial nas alterações físicas dos frutos de tomateiro, em conjunto com a compressão.

Durante os experimentos, através da análise visual, verificou-se que a firmeza dos frutos para que os mesmos ainda pudessem ser consumidos *in natura*, girou em torno de 24 N. Portanto, os frutos testemunha foram os que apresentaram maior tempo de vida pós-colheita para consumo (16 dias). Por outro lado, esta aceitabilidade foi observada para os frutos tratados somente até o 12º dia de armazenamento.

Segundo Couto et al. (2002), no estudo do comportamento mecânico de um material, o módulo de deformidade é considerado mais significativo que o de elasticidade, visto que, quando um produto é comprimido, a deformação total é que tem aplicação prática. O módulo proporcional de deformidade não sofreu diferenças significativas entre a testemunha e o tratamento, decrescendo durante o armazenamento (Figura 1.7).

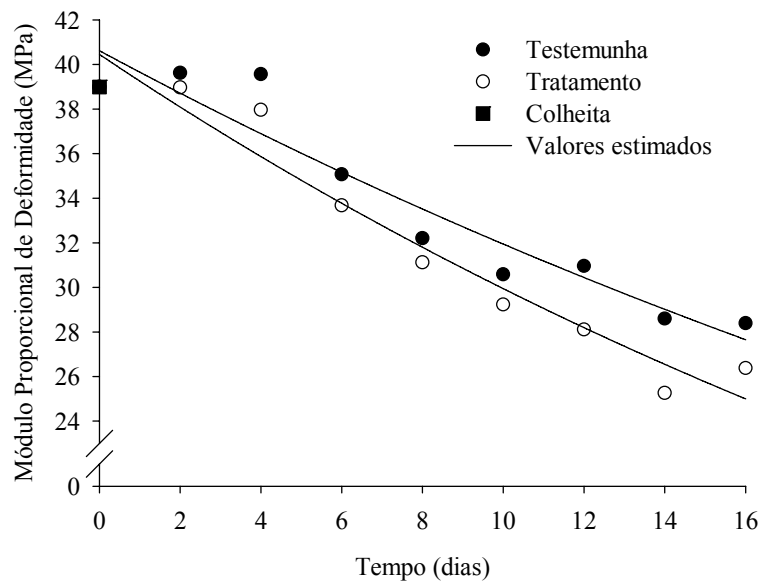


Figura 1.7. Valores médios observados e estimados do módulo proporcional de deformidade para os frutos de tomateiro, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento na temperatura de 15 °C.

Pela Figura 1.7 observa-se que o módulo proporcional de deformidade apresentou um comportamento semelhante ao da força de compressão. Couto et al. (2002) argumentam que quanto maior o módulo proporcional de deformidade, maior a força necessária para promover uma determinada deformação em um produto. Os valores do módulo proporcional de deformidade diminuíram de 40,62 a 24,99 MPa durante o armazenamento. Alguns autores, trabalhando com diferentes produtos, apresentaram valores do módulo proporcional de deformidade, descritos na Tabela 1.4.

Tabela 1.4. Valores para fins de comparação do módulo proporcional de deformidade ( $E_P$ ) para diferentes produtos.

Produto	$E_P$ (MPa)	Referência
Batata	60,3 – 125,4	Hicsasmaz e Rizvi (2005)
Fatias de maçã	1,2 – 2,5	Paoletti et al. (1993)
Frutos de café cereja	10 – 30	Couto et al. (2002)
Frutos de café verde	70 – 150	Couto et al. (2002)

Assim como para a compressão, somente o tempo foi significativo para a energia necessária para uma deformação específica de 0,005 m. A Figura 1.8 apresenta os valores médios observados da energia referentes a uma deformação específica de 0,005

m nos frutos de tomateiro tratados e não tratados, submetidos a uma compressão uniaxial na posição natural de repouso, ao longo do armazenamento.

Os valores da energia referentes ao teste de compressão dos frutos de tomateiro variaram entre 79,86 e 50,92 mJ. A energia apresentou comportamento semelhante ao da força e ao do módulo proporcional de deformidade, ou seja, diminuíram seus valores com o tempo de armazenagem.

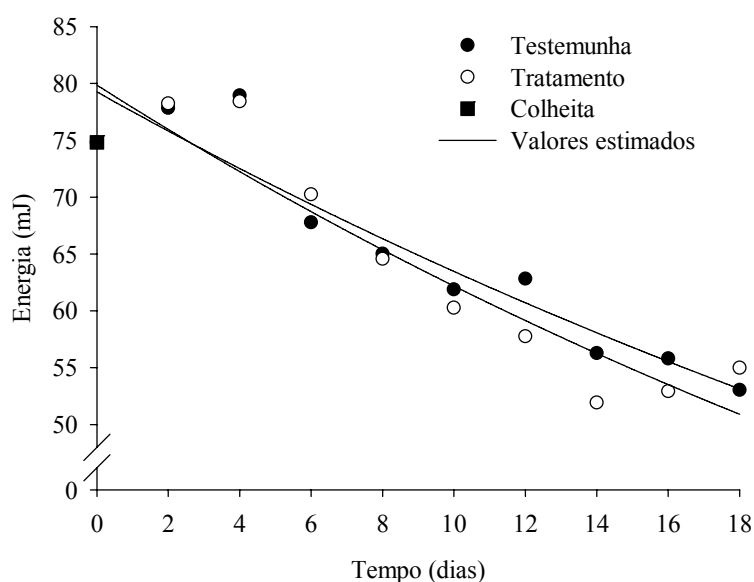


Figura 1.8. Valores médios observados e estimados da energia necessária de compressão para uma deformação específica de 0,005 m para os frutos de tomateiro, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento na temperatura de 15 °C.

A Tabela 1.5 contém as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de firmeza e de energia necessárias para uma deformação específica de 0,005 m para os frutos de tomateiro, bem como do módulo proporcional de deformidade ao longo do armazenamento, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 1.5. Equações ajustadas aos valores experimentais de firmeza ( $F$ ), energia ( $\xi$ ) e módulo proporcional de deformidade ( $E_p$ ) dos frutos de tomateiro em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\hat{F} = 34,6844 \exp(-0,0239t)$	0,9266
	$\hat{\xi} = 79,2586 \exp(-0,0222t)$	0,8853
	$\hat{E}_p = 40,6224 \exp(-0,0240t)$	0,8999
TRAT	$\hat{F} = 34,8455 \exp(-0,0275t)$	0,9090
	$\hat{\xi} = 79,8572 \exp(-0,0250t)$	0,8687
	$\hat{E}_p = 40,4573 \exp(-0,0301t)$	0,9426

A força, a energia e o módulo proporcional de deformidade decresceram exponencialmente ao longo do armazenamento para todas as condições estudadas. As equações de regressão apresentaram valores satisfatórios de coeficiente de determinação, obtendo parâmetros significativos ( $p < 0,01$ ), indicando que os mesmos são aptos para representar o fenômeno estudado.

### 1.3.3.2 Análise destrutiva

A utilização de testes destrutivos para o estudo das alterações em frutos, cereais, dentre outros, vem sendo empregado juntamente com as análises não-destrutivas de forma a se obter, para cada produto, aquele que melhor retrata as alterações físico-químicas destes produtos ao longo de sua vida de prateleira. Abbott (1999) e De Ketelaere et al. (2006) relatam que a força resultante da penetração é reflexo de alterações nas propriedades mecânicas de materiais biológicos. Portanto, a sua utilização é um importante indicador da firmeza e amadurecimento destes produtos (Wang et al., 2006).

O teste de punção foi capaz de diferenciar os frutos testemunha dos que sofreram o tratamento. A Figura 1.9 apresenta os valores médios observados da força de penetração da periderme dos frutos de tomateiro tratados e não tratados, ao longo do armazenamento a 15 °C.

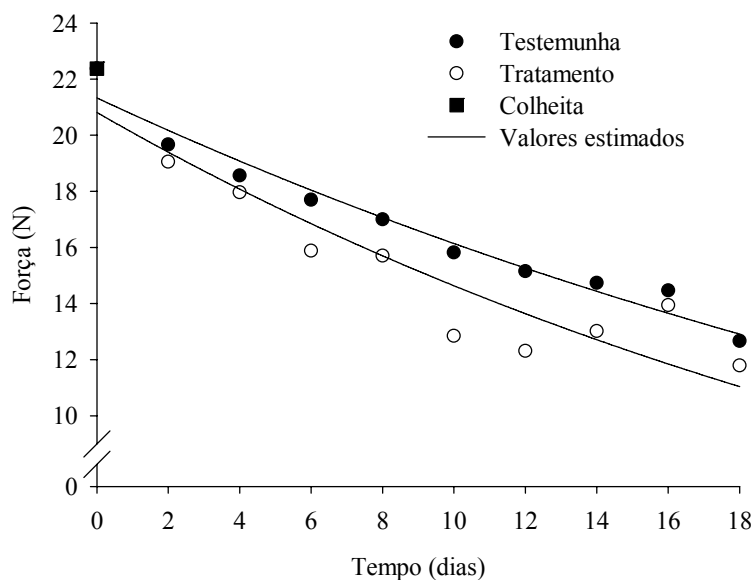


Figura 1.9. Valores médios observados e estimados da força de penetração da periderme dos frutos de tomateiro, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento na temperatura de 15 °C.

Os valores da força de penetração da periderme dos frutos de tomateiro variaram entre 21,33 e 11,04 N para um tempo de armazenamento de 18 dias. As variações da força de penetração são devidas principalmente à perda de massa dos frutos, alterando a turgescência dos frutos. Mayor et al. (2007) explicam que devido à alta tensão celular promovida pela maior turgescência dos frutos acaba por aumentar a dureza e a elasticidade do tecido. Logo, frutos que apresentem menor perda de massa também apresentam maior turgescência e, por conseguinte, maior força de penetração da periderme, fato este apresentado pelos frutos que não sofreram o tratamento.

Outro aspecto inerente à força de rompimento da pele dos tomates é em relação ao amadurecimento dos mesmos. É sabido que a periderme dos frutos verdes requer uma maior força para que ocorra seu rompimento, decrescendo seus valores ao passo que os frutos se tornam maduros (Batu, 2004; Van Zeebroeck et al., 2007). Este fato coaduna com os resultados obtidos neste trabalho, em que a força de penetração da periderme dos frutos decresceu durante o armazenamento, indicando o amadurecimento do produto.

Durante o decorrer dos experimentos, através do aspecto visual e do aroma dos tomates, verificou-se que a força mínima de penetração, indicadora da qualidade do produto para sua utilização *in natura*, foi em torno de 14 N. Este fato também foi encontrado por Batu (2004), em que através de análise sensorial de duas cultivares de

tomates (cv. Liberto e Criterium), concluiu que frutos apresentando valores acima de 14,5 N de firmeza foram considerados muito firmes e que na faixa de 12,2 a 14,5 N são considerados macios, porém ainda aptos para sua utilização em saladas. Sendo assim, os frutos armazenados a 15 °C são comercializáveis até o 10º dia de armazenamento (tratamento), enquanto que os frutos testemunha perduraram até o 16º dia de armazenagem na menor temperatura.

Lien et al. (2009) classificaram tomates através do teste de punção após danificação devido à queda livre, relacionando a força de penetração com o amadurecimento destes frutos. Entretanto, devido às diferenças entre cultivares, modo de impacto, e tamanho dos frutos, a média reportada por estes autores da força de penetração ( $25,59 \pm 2,46$  para frutos verdes,  $15,27 \pm 3,03$  para frutos no estagio meio maduro e  $6,90 \pm 2,22$  para frutos maduros) não foram observadas no presente trabalho, indicando a necessidade do estudo de diferentes cultivares e fontes de danificações nos frutos.

Os valores da energia referentes ao teste de punção dos frutos de tomateiro variaram entre 73,12 e 44,13 mJ. Esta variável apresentou comportamento semelhante ao da força e ao módulo proporcional de deformidade, ou seja, diminuíram seus valores com o tempo de armazenagem (Figura 1.10).

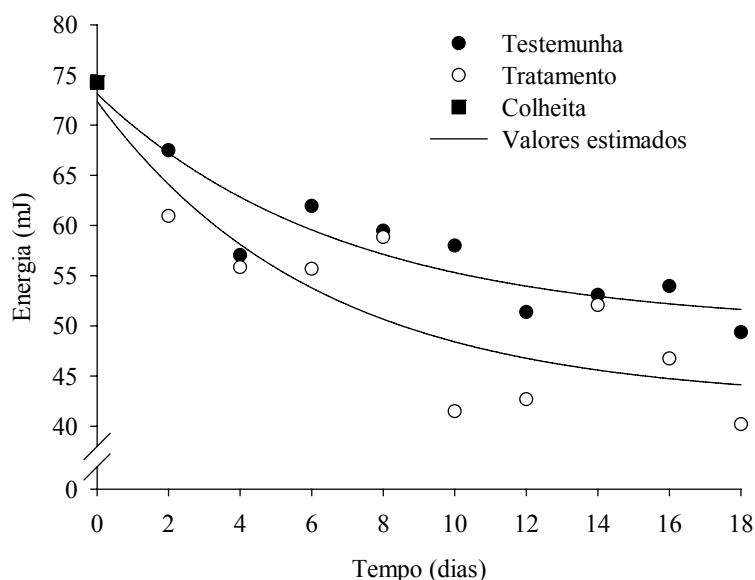


Figura 1.10. Valores médios observados e estimados da energia necessária para romper a periderme dos frutos de tomateiro, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento na temperatura de 15 °C.



A Tabela 1.6 apresenta os valores médios de força de penetração da periderme dos tomates ‘testemunha’ e que sofreram o tratamento, além da energia requerida para este processo.

Tabela 1.6. Valores médios de força de penetração (N) e energia (mJ) da periderme dos frutos de tomateiro, não-submetidos (testemunha) e submetidos (tratamento) à compressão, ao longo do armazenamento a 15 °C.

Tomates	Médias	
	Força de penetração	Energia
TE	16,81 A	58,60 A
TRAT	15,49 B	52,88 B

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A Tabela 1.7 contém as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de força e energia de rompimento da periderme dos frutos de tomateiro, ao longo do armazenamento, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 1.7. Equações ajustadas aos valores experimentais de força de penetração ( $F_c$ ) e energia ( $\xi_c$ ) de rompimento da periderme dos frutos de tomateiro em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\hat{F}_c = 21,3307 \exp(-0,0279t)$	0,9593
	$\hat{\xi}_c = 50,0025 + 23,1205 \exp(-0,1471t)$	0,8341
TRAT	$\hat{F}_c = 20,8127 \exp(-0,0352t)$	0,8563
	$\hat{\xi}_c = 42,5251 + 29,8513 \exp(-0,1623t)$	0,7257

Observa-se na Tabela 1.7 que tanto a força como a energia para romper a periderme dos frutos de tomateiro decresceu exponencialmente durante o armazenamento nas condições deste trabalho. Ademais, as equações de regressão apresentaram valores satisfatórios de coeficiente de determinação, indicando que as mesmas são aptas para representar o fenômeno estudado.

### 1.3.4 Propriedades mecânicas dos frutos armazenados a 25 °C

#### 1.3.4.1 Análises não-destrutivas

Assim como na temperatura de 15 °C, o teste de relaxação não possibilitou diferenciar os frutos testemunha e tratamento, variando as curvas de relaxação ao longo do tempo de armazenamento.

Através do método proposto por Bellido e Hatcher (2009a), anteriormente citado, obtiveram-se os valores de  $S^*$  e  $P^*$  para os frutos armazenados a 25 °C. Eles variaram entre 0,7988 e 0,7274 para  $S^*$  e entre 0,7811 e 0,6843 para  $P^*$ , decrescendo seus valores significativamente. Este fato indica que, assim como na menor temperatura, os frutos se tornaram menos elásticos com o amadurecimento, sendo mais susceptíveis a deformações permanentes.

Tal qual na temperatura de 15 °C, o tratamento não apresentou um efeito significativo para a firmeza dos frutos, somente variando seus valores durante o armazenamento. Os valores médios observados da força máxima necessária para promover uma deformação específica de 0,005 m nos frutos de tomateiro variaram entre 32,96 e 19,79 N, conforme apresentado na Figura 1.11.

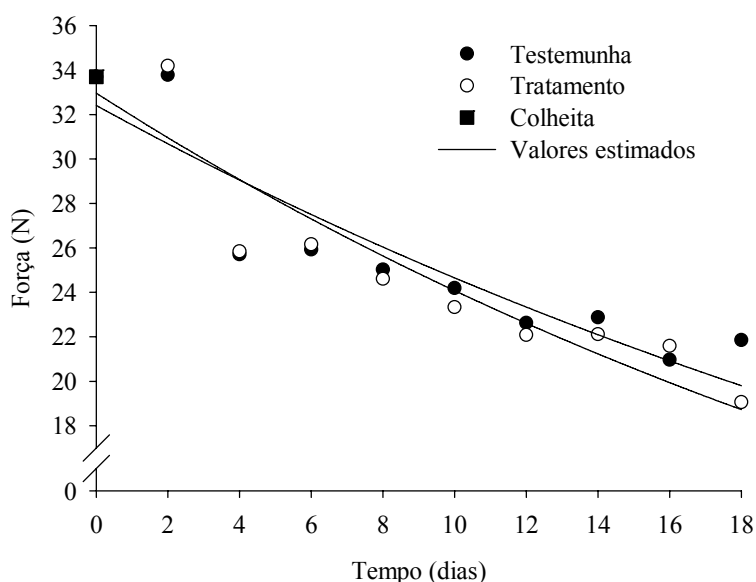


Figura 1.11. Valores médios observados e estimados da firmeza dos frutos de tomateiro, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento na temperatura de 25 °C, para uma deformação específica de 0,005 m.

A perda de firmeza é relacionada à quebra das membranas e das paredes celulares dos frutos. A quebra das membranas está associada diretamente com a perda de turgescência (perda de massa), enquanto que alterações enzimáticas nas células causam a perda da integridade do produto ao longo do tempo (Van Dijk & Tijskens, 2000). Este fato também é explicável pelo metabolismo climatérico dos tomates, que faz com que os ácidos orgânicos sejam utilizados na respiração e as pectinas da parede celular sofram degradação enzimática, o que reduz a firmeza (Chitarra & Chitarra, 2005).

Tendo em vista a força mínima referente a um produto de qualidade concluído para o presente trabalho (24 N), temos que os tomates testemunha a 25 °C apresentam características aceitáveis relativas à textura até o 10º dia, e os tomates submetidos à compressão até o 8º dia.

A Figura 1.12 apresenta os valores médios observados e estimados do módulo proporcional de deformidade (MPa) em função do tempo de armazenamento, para uma deformação específica de 0,005 m.

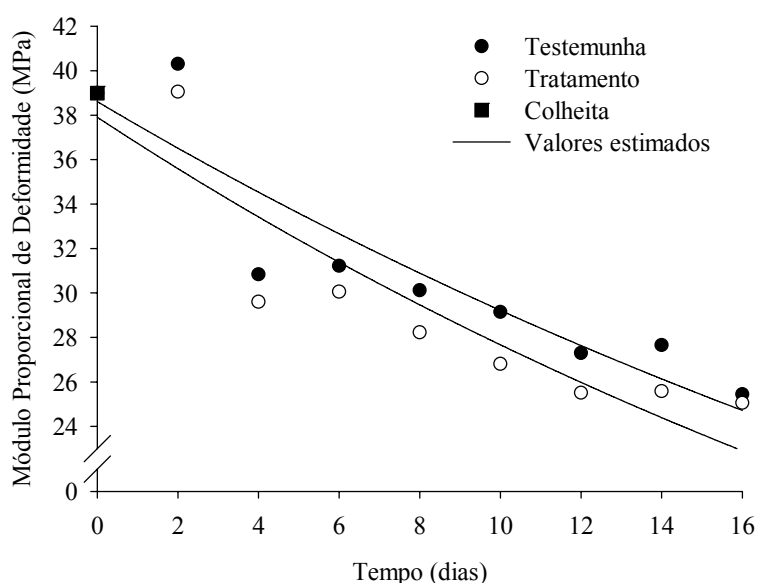


Figura 1.12. Valores médios observados e estimados do módulo proporcional de deformidade para os frutos de tomateiro, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento na temperatura de 25 °C.

Percebe-se que, nas duas temperaturas utilizadas neste trabalho, os frutos não tratados apresentaram maiores valores de módulo proporcional de deformidade,

indicativo de que estes frutos, em média, são mais firmes que os frutos tratados. Os valores do módulo proporcional de deformidade variaram entre 38,61 a 22,90 MPa.

A energia referente ao teste de compressão dos frutos de tomateiro decresceu ao longo do armazenamento, apresentando valores entre 74,78 e 46,99 mJ (Figura 1.13).

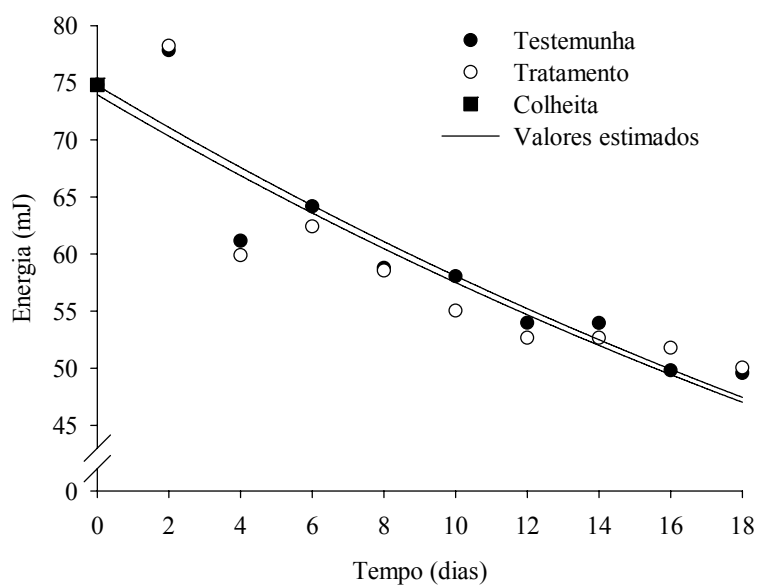


Figura 1.13. Valores médios observados e estimados da energia necessária de compressão para uma deformação específica de 0,005 m para os frutos de tomateiro, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento na temperatura de 25 °C.

A Tabela 1.8 contém as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de firmeza, energia e do módulo proporcional de deformidade.

Tabela 1.8. Equações ajustadas aos valores experimentais de firmeza ( $F$ ), energia ( $\xi$ ) e módulo proporcional de deformidade ( $E_p$ ) dos frutos de tomateiro em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\hat{F} = 32,4101 \exp(-0,0274t)$	0,8105
	$\hat{\xi} = 74,7831 \exp(-0,0253t)$	0,8665
	$\hat{E}_p = 38,6105 \exp(-0,0279t)$	0,8161
TRAT	$\hat{F} = 32,9653 \exp(-0,0314t)$	0,8607
	$\hat{\xi} = 73,9570 \exp(-0,0252t)$	0,8133
	$\hat{E}_p = 37,9097 \exp(-0,0315t)$	0,8191

#### 1.3.4.2 Análise destrutiva

O teste de punção também foi o único que permitiu a observação de diferenças entre os frutos testemunha e tratamento. Harker et al. (1997), revisando os diferentes aspectos da textura de frutas, reporta que a textura de tomates é basicamente refletida pelas propriedades mecânicas da periderme.

Este fato possivelmente se deve às diferentes transformações que os frutos sofrem durante o amadurecimento. Uma hipótese seria de que como os tomates são envolvidos por uma pele ou periderme, a velocidade das alterações no seu interior é menor em relação à própria periderme dos frutos. Dessa forma a firmeza e a relaxação, que envolvem o fruto inteiro, não são capazes de detectar as alterações dos frutos devido à compressão induzida. Assim, para tomates cv. Pizzadoro, submetidos a uma compressão de 50 N por 48 horas, os testes de compressão e relaxação não são indicados para definir quais frutos são ou não de melhor qualidade.

A Figura 1.14 apresenta os valores médios observados da força de penetração da periderme dos frutos de tomateiro tratados e não tratados, ao longo do armazenamento a 25 °C.

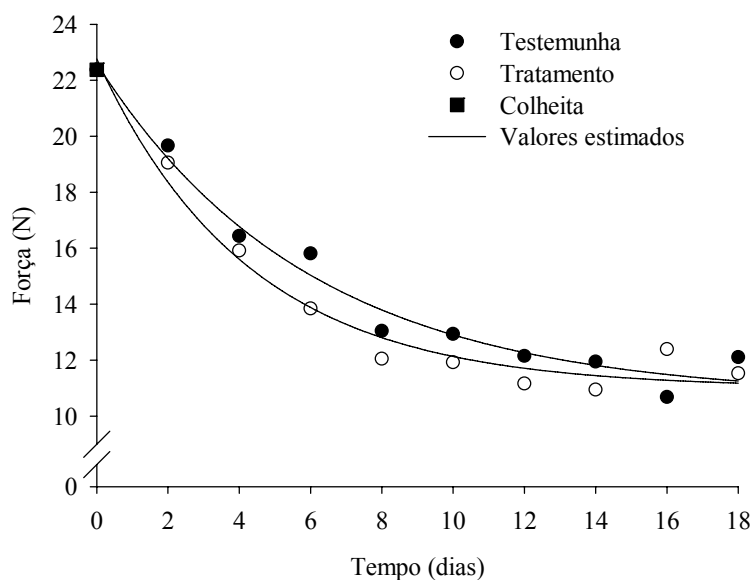


Figura 1.14. Valores médios observados e estimados da força de penetração da periderme dos frutos de tomateiro, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento na temperatura de 25 °C.

Tanto a força como a energia (Figura 1.15) para romper a periderme dos frutos de tomateiro decresceram significativamente com o tempo de armazenamento. Os valores de força e energia encontrados foram, respectivamente: 22,76 a 11,18 N e 78,37 a 39,00 mJ.

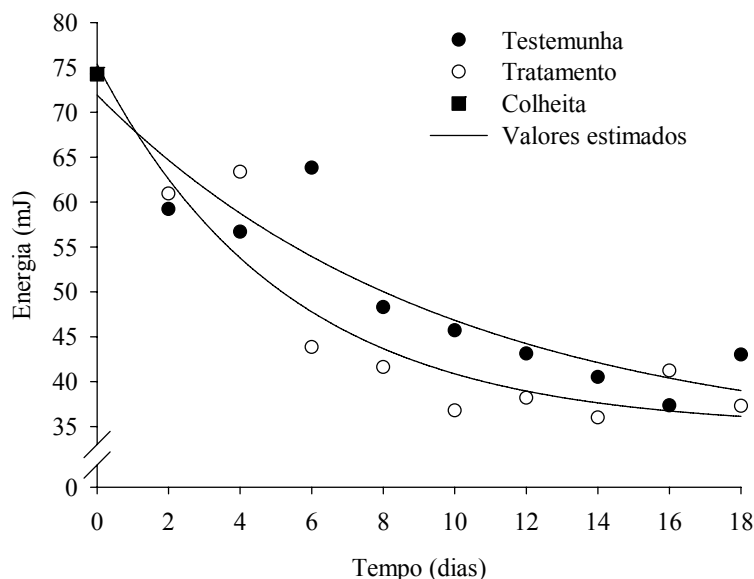


Figura 1.15. Valores médios observados e estimados da energia necessária para romper a periderme dos frutos de tomateiro, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento na temperatura de 25 °C.

A Tabela 1.9 apresenta os valores médios da força de penetração da periderme dos tomates testemunha e que sofreram o tratamento, além da energia requerida para este processo.

Tabela 1.9. Valores médios de força de penetração (N) e energia (mJ) para romper a periderme dos frutos de tomateiro, não-submetidos (testemunha) e submetidos (tratamento) à compressão, ao longo do armazenamento a 25 °C.

Tomates	Médias	
	Força de penetração	Energia
TE	14,72 A	52,02 A
TRAT	14,12 A	47,35 B

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A Tabela 1.10 contém as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de força e energia de rompimento da periderme dos frutos de tomateiro, ao longo do armazenamento, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 1.10. Equações ajustadas aos valores experimentais de força de penetração ( $F_c$ ) e energia ( $\xi_c$ ) de rompimento da periderme dos frutos de tomateiro em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\hat{F}_c = 10,6741 + 11,9312 \exp(-0,1676t)$	0,9710
	$\hat{\xi}_c = 32,8712 + 39,0614 \exp(-0,1029t)$	0,8265
TRAT	$\hat{F}_c = 11,0095 + 11,7521 \exp(-0,2346t)$	0,9687
	$\hat{\xi}_c = 34,7985 + 40,5757 \exp(-0,1899t)$	0,8793

Observa-se que, assim como para a firmeza, módulo proporcional de deformidade e energia necessária para manter uma deformação específica de 0,005 m para os frutos armazenados a 25 °C, a força de penetração da periderme dos tomates e a energia para este rompimento também apresentaram um comportamento exponencial ao longo do armazenamento.

## 1.4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas condições em que foi realizado o experimento, conclui-se que:

1. Os frutos armazenados a 15 °C, sem sofrerem a compressão, foi a condição em que possibilitou a menor perda de massa durante o armazenamento, seguido dos tomates tratados e armazenados a 15 °C, não tratados e armazenados a 25 °C e tratados e armazenados a 25 °C;
2. A compressão aplicada não alterou a firmeza do fruto para uma deformação específica de 0,005 m e da energia requerida neste processo;
3. A força de penetração e a energia necessária para o rompimento da periderme dos frutos de tomateiro foram afetadas pelo tratamento;
4. O modelo generalizado de Maxwell representa bem o processo de relaxação em todas as condições estudadas, descrevendo adequadamente as alterações dos frutos de tomateiro ao longo do armazenamento;

## 1.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, J.A. Quality measurement of fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, n. 3, p. 207 – 225, 1999.

ANDRADE JÚNIOR, V.C. 1999. **Avaliação do potencial produtivo e da firmeza pós-colheita de frutos em híbridos de tomateiro**. 1999. 52 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ASAE – American Society of Agricultural Engineers. **Agricultural Engineers Yearbook of Standards**, St. Joseph, 1994. 819 p.



BHATTACHARYA, S. Stress relaxation behaviour of moth bean flour dough: Product characteristics and suitability of model. **Journal of Food Engineering**, v. 97, n. 4, p. 539 – 546, 2010.

BATU, A. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 61, p. 471 – 475, 2004.

BELLIDO, G.G.; HATCHER, D.W. Asian noodles: Revisiting Peleg's analysis for presenting stress relaxation data in soft solid foods. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 1, p. 29 – 36, 2009a.

BELLIDO, G.G.; HATCHER, D.W. Stress relaxation behaviour of yellow alkaline noodles: Effect of deformation history. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 4, p. 460 – 467, 2009b.

BORWANKAR, R.P. Food Texture and Rheology: A Tutorial Review. **Journal of Food Engineering**, v. 16, n. 1 - 2, p. 1 – 16, 1992.

BOURNE, M. **Food texture and viscosity: concept and measurement**. New York: Academic Press, 2002. 427 p.

BRAVERMAN, J.B.S.; BERK, Z. **Introducción a la bioquímica de los alimentos**. México: El Manual Moderno, 1980. 358 p.

CAMPUS, M.; ADDIS, M.F.; CAPPUCINELLI, R.; PORCU, M.C.; PRETTI, L.; TEDDE, V.; SECCHI, N.; STARA, G.; ROGGIO, T. Stress relaxation behaviour and structural changes of muscle tissues from Gilthead Sea Bream (*Sparus aurata* L.) following high pressure treatment. **Journal of Food Engineering**, v. 96, n. 2, p. 192 – 198, 2010.

CESPI, M.; BONACUCINA, G.; MISICI-FALZI, M.; GOLZI, R.; BOLTRI, L.; PALMIERI, G.F. Stress relaxation test for the characterization of the viscoelasticity of pellets. **European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics**, v. 67, n. 2, p. 476 – 484, 2007.

CHEFTEL, J.C.; CHEFTEL, H. **Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos**. Zaragoza: Acribia, 1976. 334 p.

CHEN, C.R.; RAMASWAMY, H.S. Color and texture change kinetics in ripening bananas. **LWT – Food Science and Technology**, v. 35, n. 5, p. 415 – 419, 2002.

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

COSTA, F.G.; FILHO, J.V.C. Análise das perdas na comercialização de tomate: um estudo de caso. **Informações Econômicas**, v. 26, n. 12, p. 9 – 26, 1996.

COUTO, S.M.; BATISTA, C.S.; PEIXOTO, A.B.; DEVILLA, I.A. Comportamento mecânico de frutos de café: módulo de deformidade. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, p. 285 – 294, 2002.

CUNNINGHAM, S.E.; MCMINN, W.A.M.; Richardson, P.S. Modelling water absorption of pasta during soaking. **Journal of Food Engineering**, v. 82, p. 600 – 607, 2007.

DE KETELAERE, B.; HOWARTH, M.S.; CREZEE, L.; LAMMERTYN, J.; VIAENE, K.; BULENS, I.; DE BAERDEMAEKER, J. Postharvest firmness changes as measured by acoustic and low-mass impact devices: a comparison of techniques. **Postharvest Biology and Technology**, v. 41, p. 275 – 284. 2006.

DEL NOBILE, M.A.; CHILLO, S.; MENTANA, A.; BAIANO, A. Use of the generalized Maxwell model for describing the stress relaxation behavior of solid-like foods. **Journal of Food Engineering**, v. 78, n. 3, p. 978 – 983, 2007.

DESMET, M.; LAMMERTYNA, J.; VAN LINDEN, V.; VERLINDEN, B.E.; DARIUS, P.; NICOLAÏ, B.M. The relative influence of stem and fruit properties on stem puncture injury in tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 33, p. 101 – 109, 2004.

DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: Wiley series in probability and mathematical statistics, John Wiley & Sons. 736 p. 1998.

ERRINGTON, N.; MITCHELL, J.R.; TUCKER, G.A. Changes in the force relaxation of tomatoes during ripening: the effect of continual testing and polygalacturonase activity. **Postharvest Biology and Technology**, v. 11, n. 2, p. 141 – 147, 1997.

FERREIRA, M.D.; FRANCO, A.T.O.; FERRAZ, A.C.O.; CAMARGO, G.G.T.; TAVARES, M. Qualidade do tomate de mesa em diferentes etapas, da fase de pós-colheita. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 231 – 235, 2008.

FUSTIER, P.; CASTAIGNE, F.; TURGEON, S.L. BILIADERIS, C.G. Impact of commercial soft wheat flour streams on dough rheology and quality attributes of cookies. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 2, p. 228 – 237, 2009.

GETINET, H.; SEYOUM, T.; WOLDETSADIK, K. The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 87, p. 467 – 478, 2008.

HARKER, F.R.; REDGWELL, R.J.; HALLETT, I.C.; MURRAY, S.H.; CARTER, G. Texture of fresh fruit. Em: Janick, J. (Ed.), **Horticultural Reviews**, v. 20. John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 121–224, 1997.

HERTOG, M.L.A.T.M.; BEN-ARIE, R.; RÓTH, E.; NICOLAÏ, B.M. Humidity and temperature effects on invasive and non-invasive firmness measures. **Postharvest Biology and Technology**, v. 33, n. 1, p. 79 – 91, 2004.

HICSASMAZ, Z.; RIZVI, S.S.H. Effect of size and shape on modulus of deformability. **LWT – Food Science and Technology**, v. 38, p. 431 – 435, 2005.

JAVANMARDI, J.; KUBOTA, C. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. **Postharvest Biology and Technology**, v. 41, p. 151 – 155, 2006.

KASHANINEJAD, M.; MORTAZAVI, A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L.G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v. 78, p. 98 – 108, 2007.

KLUGE, R.A.; MINAMI, K. Efeito de ésteres de sacarose no armazenamento de tomates 'Santa Clara'. **Scientia agricola**, v. 54, n. 1-2, 1997.

KRAMER, A.; SZCZESNIAK, A.S. **Texture measurements of foods**. Dordrecht/Boston, 1973. 175 p.

LANA, M.M.; TIJSKENS, L.M.M.; VAN KOOTEN, O. Effects of storage temperature and fruit ripening on firmness of fresh cut tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 35, p. 87 – 95, 2005.

LIEN, C-C.; AY, C.; TING, C-H. Non-destructive impact test for assessment of tomato maturity. **Journal of Food Engineering**, v. 91, n. 3, p. 402 – 407, 2009.

MASKAN, M. Effect of processing on hydration kinetics of three wheat products of the same variety. **Journal of Food Engineering**, v. 52, n. 4, p. 337 – 341, 2002.

MAYOR, L.; CUNHA, R.L.; SERENO, A.M. Relation between mechanical properties and structural changes during osmotic dehydration of pumpkin. **Food Research International**, v. 40, p. 448 – 460, 2007.

MOHAPATRA, D.; RAO, P.S. A thin layer drying model of parboiled wheat. **Journal of Food Engineering**, v. 66, n. 4, p. 513 – 518, 2005.

MOHSENIN, N. **Physical properties of plant and animal materials**. 2 ed. New York: Gordon and Breach, 1986. 534 p.

MULLER, H.G. Mechanical properties, rheology and haptesthesia of food. **Journal of Texture Studies**, v. 1, p. 38 – 42, 1969.

O'BRIEN, M.; CLAYPOOL, L.L. Causes of bruising on transport trucks. **Hilgardia**, v. 35, n. 6, p. 113 – 124, 1963.

OLIVEIRA, G.H.H.; CORRÊA, P.C.; BAPTESTINI, F.M.; FREITAS, R.L.; VASCONCELLOS, D.S.L. Controle do amadurecimento de goiabas 'Pedro Sato' tratadas por frio. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 9, p. 1 – 15, 2010.

OLIVERA, D.F.; SALVADORI, V.O. Effect of freezing rate in textural and rheological characteristics of frozen cooked organic pasta. **Journal of Food Engineering**, v. 90, n. 2, p. 271 – 276, 2009.

PAOLETTI, F.; MONETA, E.; BERTONE, A.; SINESIO, F. Mechanical properties and sensory evaluation of selected apple cultivars. **LWT – Food Science and Technology**, v. 26, n. 3, p. 264 – 270, 1993.

PEREIRA, A.V.; CALBO, A.G. Elastic stresses and plastic deformations in ‘Santa Clara’ tomato fruits caused by package dependent compression. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 35, n. 12, p. 2429 – 2436, 2000.

PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA. **Norma de Classificação do Tomate**. São Paulo: Centro de Qualidade em Horticultura – CQH/CEAGESP, 2003. (CQH. Documentos, 26).

RESENDE, O.; CORRÊA, P.C. Modelagem matemática do processo de hidratação de sementes de feijão. **Acta Scientiarum, Agronomy**, v. 29, n. 3, p. 373 – 378, 2007.

RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; FERNÁNDEZ-QUINTERO, A.; CUVELIER, G. Stress relaxation of reconstituted cassava dough. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 1, p. 202 – 206, 2009.

SADOWSKA, J.; BIAŁOBRZEWSKI, I.; JELINSKI, T.; MARKOWSKI, M. Effect of fat content and storage time on the rheological properties of Dutch-type cheese. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 3 - 4, p. 254 – 259, 2009.

SCHOUTEN, R.E.; HUIJBEN, T.P.M.; TIJSKENS, L.M.M.; VAN KOOTEN, O. Modelling quality attributes of truss tomatoes: linking colour and firmness maturity. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, n. 3, p. 298 – 306, 2007.

SILVA, M.; CAVALCANTI MATA, M.E.R.M.; DUARTE, M.E.M.; PEDROZA, J.P.; NASCIMENTO, J.P.T. Resfriamento e propriedades termofísicas do cajá (*Spondias lutea* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 2, p. 175 – 185, 2002.

STEFFE, J.F. 1996. **Rheological methods in food process engineering**. East Lansing, MI: Freeman Press. 418 p.

VAN DIJK, C.; TIJSKENS, L.M.M. Mathematical modeling of enzymatic reactions as related to texture after storage and mild preheat treatment. In: Alzamora, S.M.; Tapia, M.S.; Lopez-Malo, A. (Eds.), **Minimally processed fruits and vegetables**, Maryland, USA: Aspen Publishers. p. 127 – 152, 2000.

VAN DIJK, C.; BOERIU, C.; PETER, F.; STOLLE-SMITS, T.; TIJSKENS, L.M.M. The firmness of stored tomatoes (cv. Tradiro). 1. Kinetic and near infrared models to describe firmness and moisture loss. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 575 – 584, 2006.

VAN ZEEBROECK, M.; VAN LINDEN, V.; DARIUS, P.; DE KETELAERE, B.; RAMON, H.; TIJSKENS, E. The effect of fruit properties on the bruise susceptibility of tomatoes. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, p. 168 – 175, 2007.

VOISEY, P.W. The Ottawa texture measuring system. **Canadian Institute of Food Science and Technology**, v. 4, p. 91 – 103, 1971.

WANG, J.; TENG, B.; YU, Y. The firmness detection by excitation dynamic characteristics for peach. **Food Control**, v. 17, p. 353 – 358. 2006.

WILKINSON, C.; DIJKSTERHUIS, G.B.; MINEKUSY, M. From food structure to texture. **Trends in Food Science & Technology**, v. 11, n. 12, p. 442 – 450, 2000.

## CAPÍTULO 2

### *Evolução da cor da periderme, teor de licopeno, sólidos solúveis totais e pH dos frutos de tomateiro armazenados em duas temperaturas*

#### 2.1 INTRODUÇÃO

A qualidade dos produtos agrícolas pode ser avaliada sob diferentes aspectos, podendo diferir entre regiões devido aos valores culturais de consumo. De acordo com Prado et al. (2005), a qualidade dos frutos é atribuída às suas características físicas (tamanho, forma e cor) e à sua composição nutricional, resultando nas propriedades organolépticas exigidas pelo mercado.

Os frutos do tomateiro são consumidos principalmente *in natura* ou em molhos, sendo que a qualidade organoléptica destes frutos afeta diretamente sua utilização pelo consumidor ou pela indústria. Usualmente, utiliza-se a cor como meio de avaliação da aceitabilidade dos produtos pelos consumidores, seguidas de aroma e sabor. O sabor é afetado principalmente pelo pH do produto e pelo seu teor de sólidos solúveis totais.

A coloração de frutos, juntamente com a textura dos mesmos, é a característica externa mais importante que permite determinar o amadurecimento e estimar a vida pós-colheita, sendo por sua vez um fator importante na decisão de compra por parte do consumidor. Esta característica pode ser correlacionada com o estágio de amadurecimento dos tomates, podendo ser analisada objetivamente por diferentes sistemas. O sistema CIE (Commission Internationale de l'Eclairage), confeccionado em 1931 e aperfeiçoado em 1976, que utiliza as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , é o mais difundido no meio científico, sendo mensurado através de colorímetro. O grau de coloração pode também ser avaliado visualmente, porém este método gera controvérsias devido à sua

subjetividade e dependência direta de critérios do avaliador, bem como de diferentes normas de classificação entre estados e países.

A cor do fruto é caracterizada pelo conteúdo de pigmentos carotenóides, sendo que os principais componentes dos carotenóides em tomates são o  $\beta$ -caroteno (cor laranja) e o licopeno (cor vermelha), este último sendo o principal responsável pela coloração de tomates (Schouten et al., 2007; Shi et al., 2008; Choi et al., 2008; Wu & Kubota, 2008). Abbott (1999) afirma que a cor característica de um produto está relacionada à presença de determinado pigmento ou constituinte, e ligados, respectivamente, ao grau de maturidade e ao sabor. A coloração avermelhada dos tomates deve-se principalmente à síntese de licopeno e outros carotenóides. Este fato ocorre através da degradação de clorofila, em que os cloroplastos são convertidos em cromoplastos (López Camelo & Gómez, 2004).

Vários autores enumeram os benefícios que o consumo de tomate e seus subprodutos promovem no organismo. Sua utilização reduz o risco de desenvolvimento de doenças do trato digestivo e câncer de próstata (Roldán-Gutiérrez & Castro, 2007; Giovannucci et al., 2002; Bramley, 2000; Giovannucci, 1999). Esta característica se deve principalmente à presença de licopeno (Shi & Le Maguer, 2000). Van het Hof et al. (2000) e Dewanto et al. (2002) relatam que o teor de licopeno em produtos processados de tomate geralmente é maior que em tomates de mesa, sendo essa diferença devida ao fato do processamento promover sua concentração.

O teor de sólidos solúveis totais também é utilizado como índice de amadurecimento, sendo mensurado através da escala numérica Brix. A escala Brix é utilizada na indústria de alimentos para medir a quantidade aproximada de açúcares em sucos de fruta, vinhos e na indústria de açúcar. A temperatura e a umidade relativa do ambiente de armazenamento são fatores que influenciam no grau Brix, uma vez que, em baixas temperaturas, as atividades metabólicas são retardadas, reduzindo a síntese e a degradação dos polissacarídeos e carboidratos, afetando assim o teor de sólidos solúveis.

Outro importante parâmetro que afeta o sabor dos produtos agrícolas, além do teor de sólidos solúveis totais, é a acidez. Segundo Hobson e Davies (1971), a acidez de determinado produto pode ser mensurada pelo pH e acidez titulável. Estes testes detectam o ácido predominante no alimento (ácidos orgânicos). O pH influi diretamente na proliferação de microorganismos nos produtos perecíveis; para tomates um pH inferior a 4,5 é desejável para impedir esta proliferação. Especificamente para a

indústria de processamento de tomates, valores de pH acima deste patamar acarretam em maiores períodos de esterilização, levando a um maior consumo de energia e custo de processamento.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho:

- ✓ Verificar a influência da força controlada de compressão, simulando o processo real de empilhamento de caixas, na qualidade dos frutos de tomateiro durante o armazenamento, através da caracterização da cor da periderme e da quantificação do teor de licopeno, teor de sólidos solúveis totais e pH; e,
- ✓ Relacionar o comportamento das propriedades estudadas com o estágio de amadurecimento dos tomates.

## **2.2 MATERIAL E MÉTODOS**

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pertencente ao Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR), localizado na Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, MG.

### *2.2.1 Matéria-prima*

Foram utilizados frutos de tomateiro, cultivar Pizzadoro, provenientes de uma unidade de produção convencional da cidade de Coimbra, MG. Colhidos manualmente no estágio de maturação verde maduro, segundo critérios de classificação do Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura (2003), e com os devidos cuidados para evitar qualquer tipo de danificação mecânica no produto. Os tomates foram posteriormente selecionados, retirando-se frutos com qualquer sintoma visível de deformações, doenças e outros, com a finalidade de se obter uma matéria-prima homogênea e de alta qualidade.



### 2.2.2 Aplicação do esforço de compressão e condições de armazenamento

Após a seleção, os frutos foram divididos em dois lotes. No primeiro simulou-se a condição de transporte do produto (TRAT), em que os tomates são colocados em caixas tipo “k” que são posteriormente empilhadas. Para esta simulação, utilizou-se uma compressão por 48 h. O segundo lote serviu como testemunha (TE) (sem compressão). Posteriormente, os frutos foram armazenados em duas temperaturas:  $15 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  (temperatura recomendada para o armazenamento de tomates) e à temperatura ambiente de  $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , por dezoito dias, em câmaras tipo BOD. A umidade relativa no interior das câmaras foi mantida em  $85 \pm 5 \%$ . As análises dos frutos foram realizadas após o acondicionamento dos frutos por 2 h sob temperatura ambiente, para se evitar os efeitos da temperatura de armazenagem na medição dos parâmetros.

Para realizar o tratamento nos tomates buscou-se conhecer a massa por unidade de área da caixa de madeira do tipo “k”, encontrando-se o valor de  $12,5 \text{ g cm}^{-2}$ . Deste modo, calcularam-se as dimensões de uma caixa de madeira (23x20x20 cm), sendo que estas dimensões resultaram em uma massa necessária de 5 kg para se manter o valor encontrado de massa por unidade de área da caixa “k”. Esta massa foi então aplicada sobre três fileiras de tomates sobrepostas com um dado arranjo que totalizou quinze frutos por caixa. A caixa utilizada pode ser visualizada na Figura 2.1.

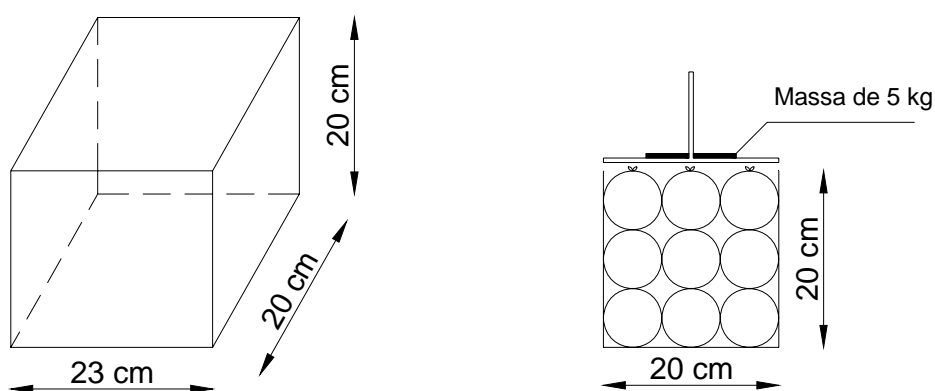


Figura 2.1. Protótipo da caixa de madeira utilizada, vistas 3D (esquerda) e lateral (direita).

## 2.2.3 Análises

### 2.2.3.1 Avaliação da cor

Utilizou-se um colorímetro tristímulo, com leitura direta de reflectância da coordenada  $L^*$  (luminosidade) em uma escala de 0 (totalmente preto) a 100 (totalmente branco). Os valores intermediários compreendem a uma escala de cinza. A coordenada  $a^*$  (tonalidades vermelha/verde) e  $b^*$  (tonalidades amarela/azul) também foram mensuradas, empregando a escala Hunter-Lab (Figura 2.2) e utilizando o iluminante  $10^\circ/D60$ . As determinações foram feitas diariamente em três pontos equidistantes da zona equatorial de cada fruto.

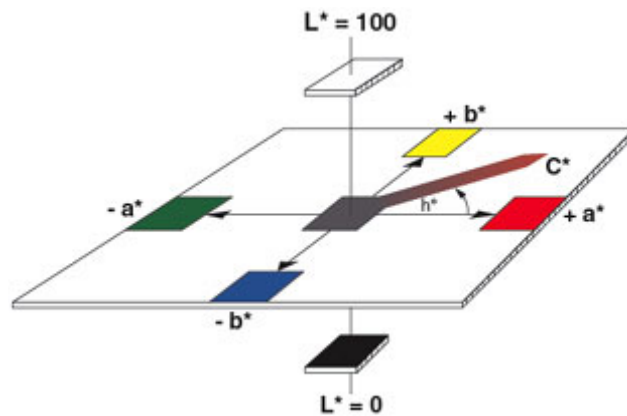


Figura 2.2. Sólido de cores do sistema CIE  $L^*a^*b^*$  e descrição do ângulo hue ( $h^*$ ) e do índice de saturação cromática ( $C^*$ ).

A partir dos valores de  $a^*$  e  $b^*$ , foram calculados os índices colorimétricos: o cromatismo ( $C^*$ ) (Equação 2.1), que define a intensidade e a pureza de uma cor; e o ângulo hue ( $h^*$ ) (Equação 2.2), que define a tonalidade da cor:  $0^\circ$  (vermelho),  $90^\circ$  (amarelo),  $180^\circ$  (verde) e  $270^\circ$  (azul).

$$C^* = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \quad (2.1)$$

$$h^* = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \quad (2.2)$$

### 2.2.3.1.1 Quantificação das diferenças colorimétricas

Para uma melhor análise da cor do produto, as diferenças em cada tempo de armazenamento (Equações 2.3, 2.4 e 2.5) e entre testemunha e tratamento (Equações 2.6, 2.7 e 2.8), em cada temperatura, foram calculadas. A diferença total de cor ( $\Delta E$ ) foi calculada pela Equação 2.9.

$$\Delta L^* = L_t^* - L_0^* \quad (2.3)$$

$$\Delta a^* = a_t^* - a_0^* \quad (2.4)$$

$$\Delta b^* = b_t^* - b_0^* \quad (2.5)$$

$$\Delta L^* = L_{TE}^* - L_{TRAT}^* \quad (2.6)$$

$$\Delta a^* = a_{TE}^* - a_{TRAT}^* \quad (2.7)$$

$$\Delta b^* = b_{TE}^* - b_{TRAT}^* \quad (2.8)$$

$$\Delta E = \left( \Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2} \right)^{1/2} \quad (2.9)$$

Os subíndices  $t$ ,  $0$ ,  $TE$  e  $TRAT$  de cada fórmula referem-se, respectivamente, para valores de cada variável no tempo  $t$ , no tempo  $0$ , e valores das variáveis na testemunha e no tratamento.

### 2.2.3.2 Avaliação do teor de licopeno

A metodologia empregada na obtenção de licopeno é a descrita por Zscheile e Porter (1947). Aproximadamente 20 g do pericarpo (periderme) foram retirados do fruto, triturados e homogeneizados por meio de um misturador (Mixer) juntamente com 20 mL de acetona e 60 mL de hexano ( $C_6H_{14}$ ) a 60 °C. O produto foi então filtrado em papel-filtro e direcionado a um funil de separação de 250 mL, e lavado sequencialmente com 20 mL das soluções de metanol ( $CH_3OH$ ) a 90 %, 20 mL de hidróxido de potássio (KOH) a 20 %, 20 mL de metanol ( $CH_3OH$ ) a 90 %, e água destilada por 30 min. Após o descarte da fase inferior da solução, retiraram-se alíquotas de 0,5 mL da amostra, diluindo-a com hexano ( $C_6H_{14}$ ), até o volume final de 6 ou 10 mL, conforme a necessidade de adequação da leitura espectrofotométrica para intervalos de absorvância entre 0,1 e 0,6, considerados como confiáveis (Amaral Júnior et al., 1999). A solução

resultante foi encaminhada para análise em espectrofotômetro de varredura UV-Vísivel, marca Varian, modelo Cary 50 Conc, sendo as leituras realizadas nos comprimentos de onda de 487,5 nm e 502 nm.

As Equações 2.10 e 2.11 demonstram os procedimentos para obtenção de carotenóides totais e licopeno, respectivamente.

$$CT = \frac{Abs(487,5)FD 10^5}{181 LC MA} \quad (2.10)$$

$$LIC = \frac{[Abs(502) 181 / Abs(487,5)] - 42}{237} \times 100 \quad (2.11)$$

Em que:

*CT*: carotenóide total,  $\mu\text{g g}^{-1}$ ;

*Abs*: absorvância;

*FD*: fator de diluição;

*LC*: largura da cubeta, cm;

*MA*: massa da amostra, g;

*LIC*: licopeno, %;

#### 2.2.3.3 Determinação do teor de sólidos solúveis totais

Para a determinação do teor de sólidos solúveis totais presente no suco de tomate foi utilizado refratômetro portátil, marca *Nova*, modelo 113, para a leitura de valores de °Brix, corrigido para 20 °C, segundo procedimento indicado por Zenebon et al. (2008).

#### 2.2.3.4 Determinação do pH

Para a determinação do pH presente no suco de tomate foi utilizado um pHmetro digital (Modelo PHS-3B, Phtek, São Paulo, Brasil).

#### 2.2.4 Análise estatística

O experimento foi realizado, para cada temperatura, em um esquema fatorial 2x18 (dois tratamentos e dezoito tempos) para a análise de coloração dos tomates, no

delineamento inteiramente casualizado, em quinze repetições para a análise. Para as análises restantes foi utilizado um esquema fatorial de 2x9 (dois tratamentos e nove tempos), em cada temperatura, em um delineamento inteiramente casualizado, com o número de repetições variando de acordo com o teste empregado. Os dados experimentais foram interpretados por meio de análise de variância e regressão.

Entre a testemunha e o tratamento de compressão, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, adotando o nível de 5 % de probabilidade, utilizando-se o programa SAEG<sup>®</sup>. Para a comparação do tempo de armazenamento, as médias foram submetidas à análise de regressão. Os modelos foram escolhidos baseados no coeficiente de determinação ( $R^2$ ), na significância dos parâmetros e nos fenômenos em estudo.

## **2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### *2.3.1 Amadurecimento a 25 °C*

#### *2.3.1.1 Evolução da cor da periderme dos tomates*

O tomate está incluído no grupo de frutos climatérios, em que seu amadurecimento ocorre mesmo após a sua colheita. Assim, a alteração na coloração da periderme dos frutos de tomateiro se torna um importante avaliador não-destrutivo do estado de amadurecimento dos mesmos.

Através da análise de variância constatou-se que a interação entre o tratamento e o tempo foi significativa para as coordenadas  $L^*$  e  $a^*$ , sendo que apenas o tempo possibilitou diferenças significativas entre a testemunha e o tratamento para a coordenada  $b^*$ .

A Tabela 2.1 apresenta os resultados obtidos para as coordenadas  $L^*$  e  $a^*$  fornecidas pelo colorímetro.

Tabela 2.1. Valores médios das coordenadas  $L^*$  e  $a^*$  da periderme dos frutos de tomateiro, não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão, ao longo do armazenamento, na temperatura de 25 °C.

Tempo (dias)	L		$a^*$	
	TE	TRAT	TE	TRAT
0	48,75 a	48,75 a	3,43 a	3,43 a
2	44,94 b	49,17 a	18,47 a	5,17 b
3	41,85 b	44,71 a	22,57 a	14,28 b
4	39,49 b	42,07 a	25,67 a	19,87 b
5	39,37 b	41,19 a	26,25 a	24,57 a
6	38,63 a	39,60 a	29,49 a	27,53 a
7	37,75 a	38,39 a	30,10 a	29,41 a
8	35,65 a	36,36 a	31,40 a	30,53 a
9	37,03 a	37,70 a	31,12 a	31,49 a
10	37,24 a	35,87 b	31,49 a	31,43 a
11	36,86 a	37,27 a	31,60 a	31,48 a
12	37,23 a	37,23 a	31,52 a	31,67 a
13	37,32 a	37,19 a	31,61 a	31,72 a
14	37,03 a	37,07 a	31,80 a	31,84 a
15	37,02 a	36,74 a	31,80 a	31,99 a
16	36,48 a	36,69 a	31,72 a	31,63 a
17	36,48 a	36,38 a	31,63 a	31,83 a
18	34,43 a	34,54 a	32,67 a	31,84 a

Valores são a média de quarenta e cinco leituras em cada condição de experimento e tempo de armazenamento. Para a mesma variável, as médias seguidas por uma mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Percebe-se que o tratamento teve um efeito negativo no amadurecimento do produto, indicado pelos menores valores iniciais de  $a^*$  e maiores de  $L^*$  (Tabela 2.1). Entretanto, durante o armazenamento, esta diferenciação tendeu a se atenuar até desaparecer (a partir do 5º e 4º dia de armazenamento, respectivamente para as coordenadas  $L^*$  e  $a^*$ ). Possivelmente ocorreram alterações na disposição intracelular devido ao peso aplicado, diminuindo os caminhos livres existentes para as trocas gasosas e de solutos. Dessa forma os frutos comprimidos não apresentaram capacidade

para continuar seu amadurecimento, até que os pesos fossem retirados. Um trabalho anterior também concluiu que tomates comprimidos obtiveram menores valores de  $\text{CO}_2$  (menor taxa respiratória) ao longo do armazenamento, atrasando o amadurecimento (Silva & Calbo, 1992).

As alterações na coordenada  $L^*$ , que representa a luminosidade do corpo analisado, não foram discrepantes, uma vez que os frutos sofreram um decréscimo em seus valores de 29,37 % para a testemunha, enquanto que os frutos tratados este valor foi de 29,15 %. A diminuição dos valores desta coordenada indica o escurecimento da cor da periderme à medida que os frutos amadurecem, representando a perda de brilho dos frutos devido principalmente à síntese de carotenóides (Carvalho et al., 2005), além do escurecimento da coloração avermelhada (López Camelo & Gómez, 2004). A variação da luminosidade dos tomates, ao longo do tempo de armazenagem, está apresentada na Figura 2.3 abaixo.

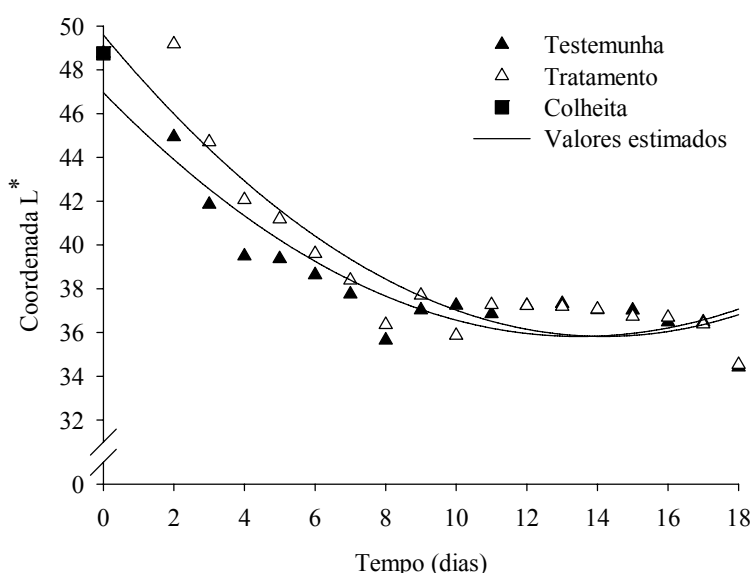


Figura 2.3. Valores observados e estimados da coordenada  $L^*$  da periderme dos frutos de tomateiro armazenados na temperatura de 25 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

Analisando-se esta figura, nota-se novamente as maiores diferenças iniciais entre testemunha e tratamento, sendo anulada posteriormente. A partir do 8º dia de armazenamento, os valores de luminosidade tendem a um valor constante, indicando que o amadurecimento máximo foi atingido.

A evolução da coloração da periderme dos frutos de tomateiro, através do estudo da coordenada  $a^*$ , está apresentada na Figura 2.4.

A coordenada  $a^*$  apresentou um acréscimo médio de 852,48 % e 828,28 % para os frutos testemunha e tratamento, respectivamente (Tabela 2.1). Este aumento está diretamente relacionado ao amadurecimento dos frutos, em que a alteração da cor verde (menores valores) para a cor vermelha (maiores valores) é devida à redução da clorofila e síntese do licopeno.

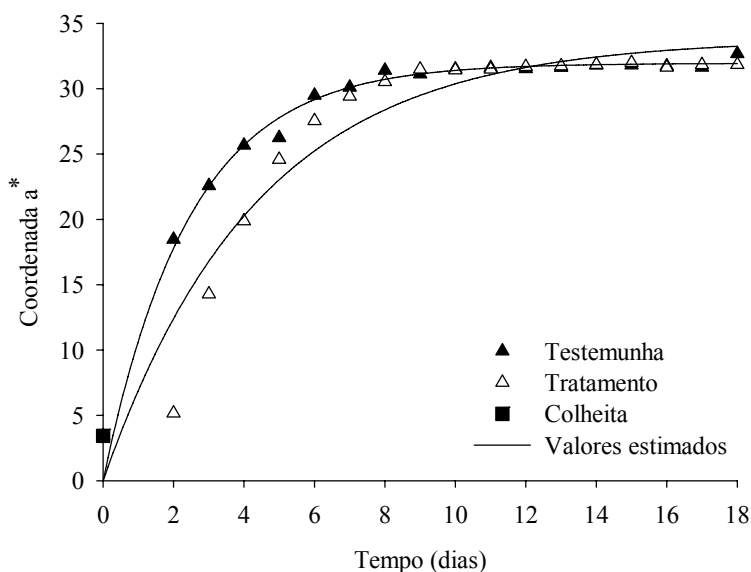


Figura 2.4. Valores observados e estimados da coordenada  $a^*$  da periderme dos frutos de tomateiro armazenados na temperatura de 25 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

Assim como a luminosidade, a coordenada  $b^*$  decresceu rapidamente no início das análises. Este fato pode ser comprovado pela Figura 2.5, que demonstra as alterações nesta coordenada ao longo do armazenamento dos frutos de tomateiro armazenados a 25 °C.



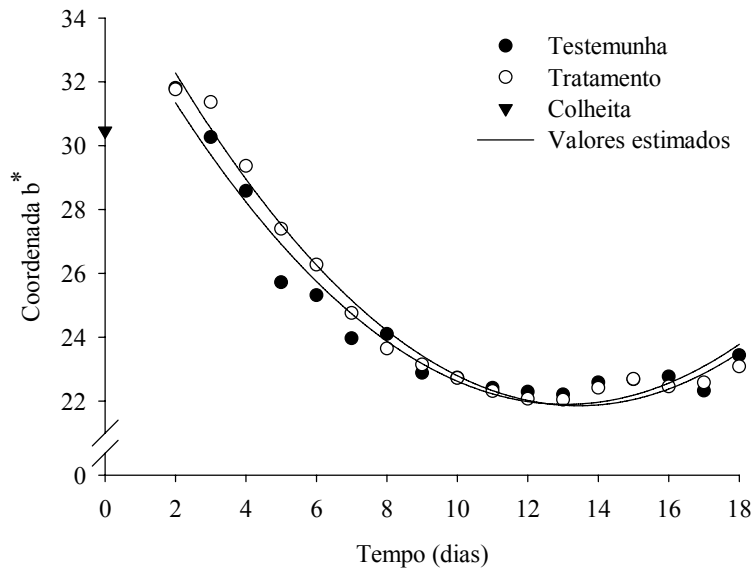


Figura 2.5. Valores observados e estimados da coordenada  $b^*$  da periderme dos frutos de tomateiro armazenados na temperatura de 25 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

Os valores da coordenada  $b^*$ , responsável pela coloração entre amarela e azul, diminuíram em cerca de 21,93 % para os frutos testemunha e 22,81 % nos tomates tratados. Observando a Figura 2.5, nota-se que inicialmente os valores desta coordenada foram maiores em relação à colheita do produto. Este pico pode ser devido ao fato de que, antes de um amadurecimento mais avançado, ocorre um aumento da concentração de carotenóides responsáveis pela coloração amarelada nos frutos (Fraser et al., 1994; Choi et al., 1995; López Camelo & Gómez, 2004). Posteriormente, com a continuidade do amadurecimento através da síntese de licopeno (coloração vermelha) e  $\beta$ -caroteno (coloração laranja), esta coordenada demonstra o decaimento esperado. Liu et al. (2009) também encontraram este comportamento de aumento seguido de decréscimo durante o armazenamento de tomates tratados com ultra-violeta, assim como Carvalho et al. (2005) trabalhando com tomates em diferentes estagios de maturação.

A Tabela 2.2 contém as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de variação das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  ao longo do armazenamento, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 2.2. Equações ajustadas aos valores experimentais das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  da periderme dos frutos de tomateiro não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão induzida, armazenados a 25 °C, em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\hat{L}^* = 46,9608 - 1,6522^{**} t + 0,0613^{**} t^2$	0,8460
	$\hat{a}^* = 31,9421[1 - \exp(-0,4073t)]$	0,9810
	$\hat{b}^* = 35,0663 - 2,0163^{**} t + 0,0772^{**} t^2$	0,9630
TRAT	$\hat{L}^* = 49,5973 - 1,9419^{**} t + 0,0684^{**} t^2$	0,8902
	$\hat{a}^* = 33,7977[1 - \exp(-0,2288t)]$	0,9278
	$\hat{b}^* = 36,2417 - 2,1416^{**} t + 0,0797^{**} t^2$	0,9822

\*\* Significativo a 1 % de probabilidade pelo teste “t”.

Nota-se, pela significância dos parâmetros das equações ajustadas e pelos altos valores do coeficiente de determinação, que houve uma boa correspondência entre o período de armazenamento e os valores das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  (Tabela 2.2). As coordenadas  $L^*$  e  $b^*$  variaram significativamente segundo uma relação quadrática, enquanto que a coordenada  $a^*$  foi representada por um aumento exponencial até um valor máximo.

Dessa forma, o estudo da coloração de tomates pode ser realizado unicamente pela coordenada  $a^*$ , uma vez que este parâmetro é o que mais sofre variação com o amadurecimento deste produto, fato este também concluído por López Camelo e Gómez (2004). Jing et al. (2009) também realizaram o estudo da coloração de tomates cereja apenas pela coordenada  $a^*$  fornecida por um colorímetro.

No entanto, uma cor específica só é inteiramente definida quando o componente acromático ( $L^*$ ) é mensurado conjuntamente com os componentes cromáticos ( $a^*$  e  $b^*$ ) (López Camelo & Gómez, 2004). Ademais, Shewfelt (1993) explica que a percepção da coloração pelos seres humanos é obtida em termos de luminosidade, ângulo hue e croma. Desta forma, calcularam-se também os índices croma ( $C^*$ ) (Figura 2.6) e ângulo hue ( $h^*$ ) (Figura 2.7).

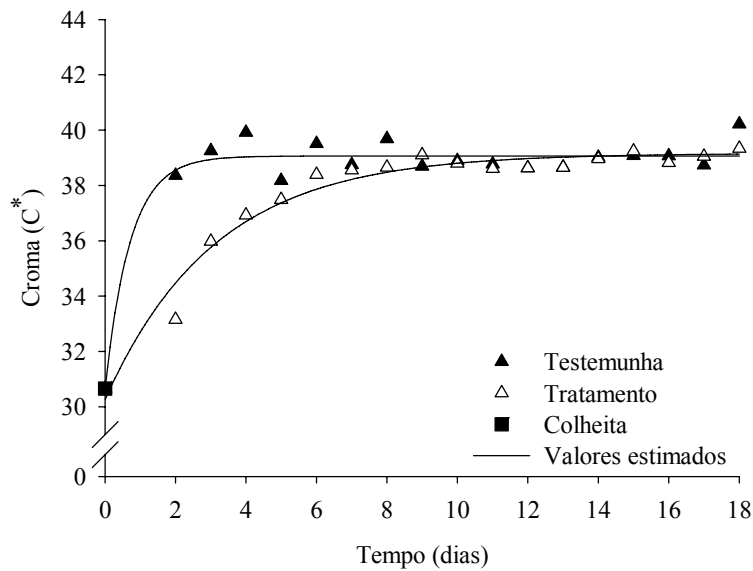


Figura 2.6. Valores observados e estimados do índice colorimétrico cromina ( $C^*$ ) da periderme dos frutos de tomateiro armazenados na temperatura de 25 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

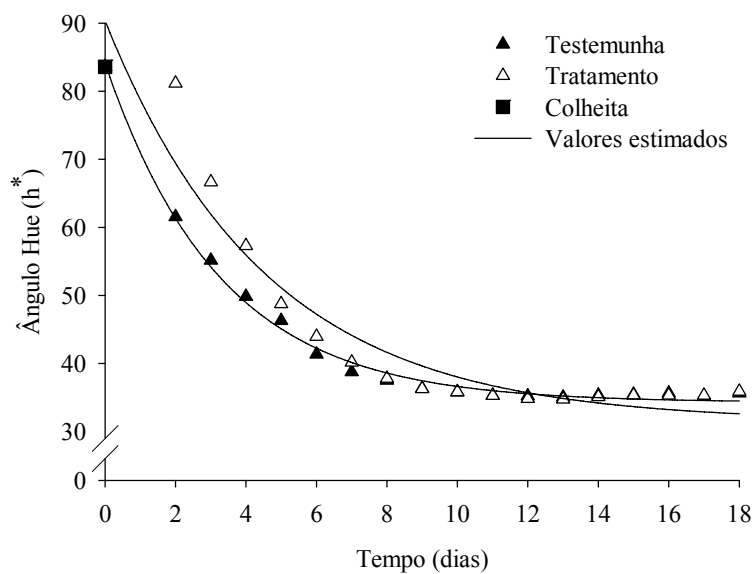


Figura 2.7. Valores observados e estimados do índice colorimétrico ângulo hue ( $h^*$ ) da periderme dos frutos de tomateiro armazenados na temperatura de 25 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

O amadurecimento dos frutos, promovido pela degradação de clorofila e síntese de licopeno (López Camelo & Gómez, 2004), ocorreu até um determinado nível para

todos os índices colorimétricos. Após o tempo de ocorrência deste fato, intensificou-se os processos físico-químicos degradativos, afetando a qualidade dos frutos de tomateiro.

O índice colorimétrico croma aumentou significativamente durante o tempo de armazenamento, sendo que houve diferenças significativas entre a testemunha e o tratamento ( $p < 0,05$ ) apenas no início das análises (Tabela 2.3). O tratamento também promoveu diferenças iniciais a 5 % pelo teste de Tukey para o ângulo hue, este decrescendo ao longo do tempo de armazenagem.

Tabela 2.3. Valores médios dos índices colorimétricos, croma ( $C^*$ ) e ângulo hue da periderme dos frutos de tomateiro, não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão, ao longo do armazenamento, na temperatura de 25 °C.

Tempo (dias)	$C^*$		$h^*$	
	TE	TRAT	TE	TRAT
0	30,66 a	30,66 a	83,58 a	83,58 a
2	38,36 a	33,15 b	61,54 b	81,15 a
3	39,25 a	35,98 b	55,15 b	66,65 a
4	39,92 a	36,93 b	49,85 b	57,28 a
5	38,18 a	37,49 a	46,29 a	48,75 a
6	39,51 a	38,40 a	41,36 a	43,96 a
7	38,75 a	38,56 a	38,76 a	40,18 a
8	39,69 a	38,66 a	37,53 a	37,80 a
9	38,69 a	39,10 a	36,32 a	36,28 a
10	38,89 a	38,80 a	35,77 a	35,84 a
11	38,77 a	38,61 a	35,31 a	35,28 a
12	38,63 a	38,63 a	35,21 a	34,83 a
13	38,66 a	38,65 a	35,03 a	34,75 a
14	39,02 a	38,96 a	35,35 a	35,09 a
15	39,08 a	39,24 a	35,46 a	35,32 a
16	39,07 a	38,82 a	35,63 a	35,32 a
17	38,74 a	39,05 a	35,18 a	35,31 a
18	40,22 a	39,34 a	35,62 a	35,90 a

Valores são a média de quarenta e cinco leituras em cada condição de experimento e tempo de armazenamento. Para a mesma variável, as médias seguidas por uma mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Percebe-se pela Tabela 2.3 que o ângulo hue sofreu importantes modificações ao longo da armazenagem, demonstrando que além da coordenada  $a^*$ , este índice colorimétrico pode ser utilizado para a caracterização da cor dos frutos de tomateiro cv. Pizzadoro. Pela mesma razão anteriormente assinalada para as três coordenadas colorimétricas, nota-se pelas Figuras 2.6 e 2.7 que os frutos submetidos à compressão apresentaram valores que indicam o atraso inicial do amadurecimento destes frutos.

O aumento do croma ao longo do tempo de armazenagem é um indicador de um decréscimo de tonalidade ou matiz da coloração, em que maiores valores levam a cores mais puras, ou seja, tornando-se mais difícil a diferenciação entre tonalidades. Dessa forma, o aumento do índice croma é um importante indicador do amadurecimento dos frutos, indicando uma coloração homogênea (menor tonalidade e aumento da pureza da cor). Alguns trabalhos também observaram este comportamento do índice croma ao longo do armazenamento de diferentes frutos (Muskovics et al., 2006; Hernández et al., 2007; Oliveira et al., 2010).

O ângulo hue tendeu a decrescer com o tempo de armazenamento dos tomates, sendo que este comportamento sugere a alteração da coloração da periderme dos frutos de tomateiro do verde para o vermelho. De acordo com Ferrer et al. (2005), as mudanças na coloração de diversos frutos envolvem a perda de clorofila pela atividade da enzima clorofilase, além da síntese de novos pigmentos, como, por exemplo, os carotenóides e/ou as antocianinas, bem como o desmascaramento de outros pigmentos que foram formados anteriormente durante o desenvolvimento dos frutos. Oliveira et al. (2010) estudaram as alterações em índices de qualidade em goiabas, observando também o mesmo comportamento relatado no presente trabalho. O mesmo ocorreu em mamões (cv. Golden) armazenados a 22 °C, durante 15 dias (Jacomino et al., 2007), assim como em tomates tratados com ar quente e armazenados durante 4 semanas (Soto-Zamora et al., 2005).

A Tabela 2.4 contém as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de variação dos índices colorimétricos croma e ângulo hue ao longo do armazenamento, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 2.4. Equações ajustadas aos valores experimentais dos índices colorimétricos croma ( $C^*$ ), ângulo hue ( $h^*$ ) da periderme dos frutos não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão induzida, em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\hat{C}^* = 30,6539 + 8,4116[1 - \exp(-1,4001t)]$	0,9291
	$\hat{h}^* = 34,2814 + 49,8128 \exp(-0,3057t)$	0,9947
TRAT	$\hat{C}^* = 30,2605 + 8,9025[1 - \exp(-0,3208t)]$	0,9608
	$\hat{h}^* = 31,4767 + 58,8680 \exp(-0,2196t)$	0,9239

A variação dos índices colorimétricos com o tempo de armazenamento foi bem representada pelas equações de regressão exponencial, apresentando elevados valores de coeficiente de determinação (> 92,39 %) (Tabela 2.2).

#### 2.3.1.1.1 Diferenças da cor da periderme dos tomates

Os resultados das diferenças colorimétricas em relação ao tempo, utilizando-se da média de quarenta e cinco observações, estão apresentados na Tabela 2.5.

Tabela 2.5. Diferenças de cor da periderme dos frutos não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão induzida, em relação ao tempo, para a temperatura de 25 °C.

Tempo (dias)	$\Delta L^*$		$\Delta a^*$		$\Delta b^*$		$\Delta E$	
	TE	TRAT	TE	TRAT	TE	TRAT	TE	TRAT
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-3,810	0,420	15,040	1,740	1,339	1,293	15,573	2,208
3	-6,900	-4,040	19,140	10,850	-0,201	0,896	20,347	11,612
4	-9,260	-6,680	22,240	16,440	-1,889	-1,105	24,165	17,780
5	-9,380	-7,560	22,820	21,140	-4,749	-3,071	25,125	22,660
6	-10,120	-9,150	26,060	24,100	-5,151	-4,194	28,427	26,117
7	-11,000	-10,360	26,670	25,980	-6,504	-5,709	29,573	28,546
8	-13,100	-12,390	27,970	27,100	-6,368	-6,823	31,535	30,569
9	-11,720	-11,050	27,690	28,060	-7,584	-7,327	31,010	31,035
10	-11,510	-12,880	28,060	28,000	-7,735	-7,748	31,300	31,779
11	-11,890	-11,480	28,170	28,050	-8,056	-8,159	31,620	31,387
12	-11,520	-11,520	28,090	28,240	-8,178	-8,397	31,443	31,634
13	-11,430	-11,560	28,180	28,290	-8,262	-8,426	31,512	31,701
14	-11,720	-11,680	28,370	28,410	-7,882	-8,053	31,691	31,755
15	-11,730	-12,010	28,370	28,560	-7,788	-7,775	31,672	31,943
16	-12,270	-12,060	28,290	28,200	-7,698	-8,012	31,783	31,700
17	-12,270	-12,370	28,200	28,400	-8,141	-7,890	31,813	31,966
18	-14,320	-14,210	29,240	28,410	-7,031	-7,384	33,309	32,612

Analisando a Tabela 2.5 observa-se que, para uma mesma variável e condição do experimento (coluna), inicialmente ocorrem grandes variações entre os tempos de armazenagem, indicando a ocorrência do amadurecimento dos frutos. Além disso, observa-se que a velocidade de alteração da coloração dos tomates, para todas as variáveis analisadas, foi maior para os frutos testemunha. A compressão dos tomates,

como exposto anteriormente, leva a um bloqueio da atividade metabólica natural dos frutos, bloqueando momentaneamente seu amadurecimento. Porém esta consequência se perde ao longo do armazenamento, aproximadamente no 9º, 8º e 11º dia de armazenamento, respectivamente para as coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , e 9º dia de armazenagem para a diferença total de cor.

A diferença total de cor sofreu variações significativas durante a armazenagem. A Figura 2.8 mostra o comportamento desta variável em função do tempo de armazenagem na temperatura de 25 °C. A Tabela 2.6 contém as equações de regressão para a diferença total de cor da periderme dos frutos de tomateiro em função do tempo de armazenamento, bem como seus respectivos coeficientes de determinação.

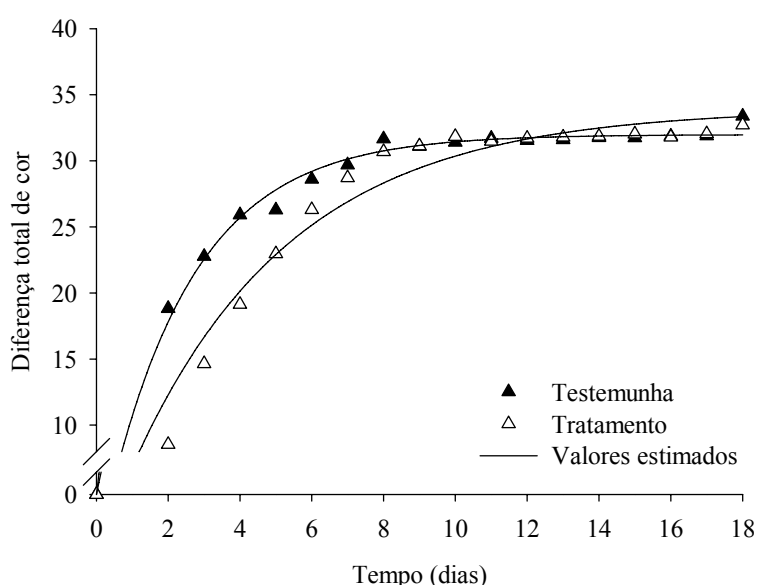


Figura 2.8. Valores observados e estimados da diferença total de cor ( $\Delta E$ ) da periderme dos frutos de tomateiro armazenados na temperatura de 25 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

Tabela 2.6. Equações ajustadas aos valores experimentais de diferença total de cor ( $\Delta E$ ) da periderme dos frutos de tomateiro, não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão induzida, em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\Delta \hat{E} = 32,3548[1 - \exp(-0,3351t)]$	0,9946
TRAT	$\Delta \hat{E} = 34,9515[1 - \exp(-0,1913t)]$	0,9231



Os resultados das diferenças de cor entre a testemunha e o tratamento estão apresentados na Tabela 2.7. Estes valores foram obtidos da diferença entre a testemunha e o tratamento, em cada tempo de armazenamento.

Tabela 2.7. Diferenças de cor da periderme dos frutos de tomateiro entre a testemunha (TE) e o tratamento (TRAT), para a temperatura de 25 °C.

Tempo (dias)	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E$
	TRAT/TE	TRAT/TE	TRAT/TE	TRAT/TE
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-4,230	13,300	0,046	13,957
3	-2,860	8,290	-1,096	8,838
4	-2,580	5,800	-0,784	6,396
5	-1,820	1,680	-1,677	2,991
6	-0,970	1,960	-0,957	2,387
7	-0,640	0,690	-0,794	1,232
8	-0,710	0,870	0,454	1,211
9	-0,670	-0,370	-0,258	0,808
10	1,370	0,060	0,013	1,371
11	-0,410	0,120	0,103	0,439
12	0,000	-0,150	0,219	0,265
13	0,130	-0,110	0,164	0,237
14	-0,040	-0,040	0,171	0,180
15	0,280	-0,190	-0,013	0,339
16	-0,210	0,090	0,315	0,389
17	0,100	-0,200	-0,251	0,336
18	-0,110	0,830	0,353	0,908

Pode-se observar que as diferenças de cor da periderme dos tomates apresentam maiores valores iniciais, em módulo, diminuindo à medida que o tempo de

armazenamento avança, exceto para a coordenada  $b^*$  (Tabela 2.7). Entretanto, como descrito anteriormente, esta coordenada não sofreu alterações significativas entre a testemunha e tratamento, não sendo indicada sua utilização para o estudo das alterações colorimétricas da periderme dos frutos de tomateiro.

Nota-se que para as coordenadas  $a^*$ ,  $b^*$  e a diferença total de cor obtiveram valores positivos, indicando que os frutos testemunha apresentaram maiores valores que os frutos tratamento, como apresentado anteriormente.

### 2.3.1.2 Alterações químicas dos tomates

Os valores de licopeno variaram significativamente com o tempo de armazenamento. A compressão (50 N) realizada nos frutos de tomateiro armazenados a 25 °C, durante dois dias, foi insuficiente para que a diferença entre os frutos testemunha e os que sofreram o tratamento fosse estatisticamente significativa ( $p < 0,05$ ).

Como concluído anteriormente, as alterações na coloração dos tomates podem ser estudadas através do índice colorimétrico ângulo hue da periderme dos frutos. Sabe-se que o teor de licopeno está diretamente relacionado com a coloração avermelhada dos tomates (López Camelo & Gómez, 2004; Carvalho et al., 2005; Soto-Zamora et al., 2005; Schouten et al., 2007). Dessa forma, ocorre o incremento desta coloração com o amadurecimento do produto, aumentando também o teor de licopeno e outros carotenóides. A Figura 2.9 mostra a evolução do teor de licopeno durante o armazenamento dos tomates em câmaras BOD na temperatura de 25 °C, em conjunto com a variação de  $h^*$ .

O teor de licopeno aumentou com o período de armazenagem do produto, variando entre 3,30 a 95,01  $\mu\text{g g}^{-1}$ , ao passo que o ângulo hue decresceu seus valores. Nota-se pela Figura 2.9 que ao redor do 10º dia de armazenagem, tanto os valores de licopeno como de ângulo hue chegaram a um patamar, não variando significativamente com a continuidade da armazenagem. Estes fatos sugerem a existência de uma correlação entre a coloração da periderme dos tomates, analisado pelo  $h^*$ , e o teor de licopeno. Dessa forma, utilizando-se do programa SAEG®, calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson. Os valores encontrados comprovam a alta correlação entre estas duas variáveis: 0,9459 e 0,9803 para a correlação entre licopeno e ângulo hue na testemunha e tratamento, respectivamente.

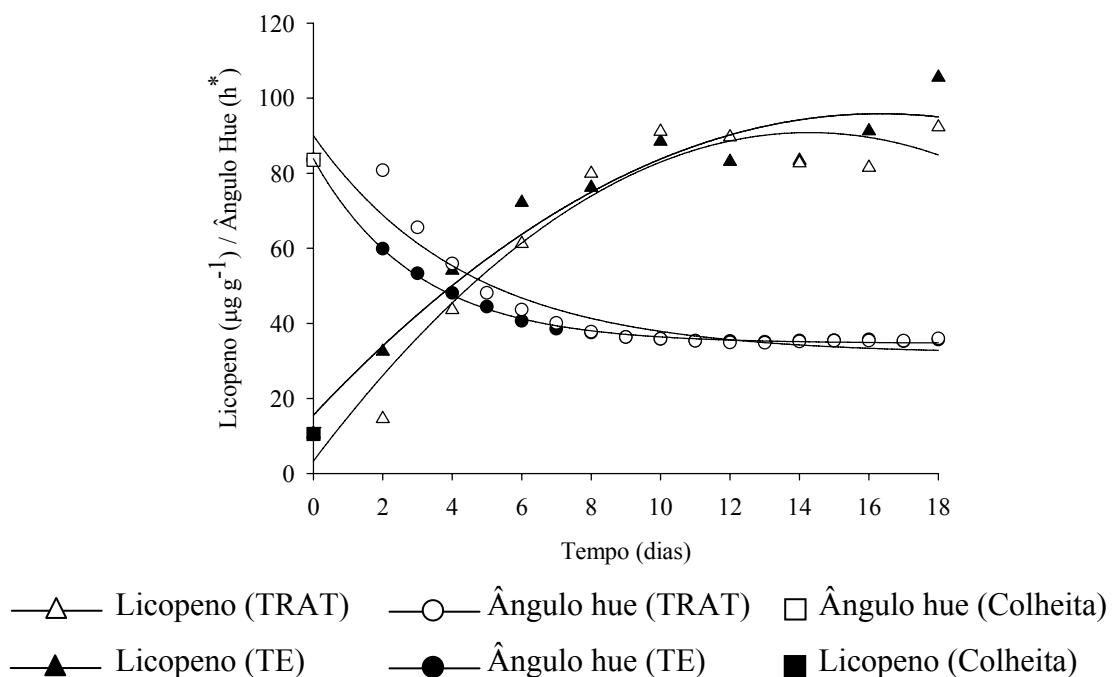


Figura 2.9. Valores observados e estimados do teor de licopeno e ângulo hue em frutos de tomateiro armazenados a temperatura de 25 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

Nota-se que inicialmente os tomates testemunha apresentaram maiores valores absolutos de teor de licopeno comparados aos tratados, apesar de não serem significativamente diferentes. No entanto, este fato corrobora o ocorrido para as coordenadas e os índices colorimétricos, além da diferença total de cor, onde em todas estas variáveis o tratamento levou a um retardo no amadurecimento e conseqüentemente na coloração dos frutos. Verifica-se ainda que os frutos armazenados a 25 °C atingiram um patamar máximo de teor de licopeno no 10º dia de armazenamento, mantendo-se praticamente constante com o passar do tempo.

Rodriguez-Amaya et al. (2008) analisaram diversos produtos agrícolas em situação ótima para consumo em relação ao conteúdo de carotenóides, dentre eles o licopeno. Para o tomate de mesa, esses autores encontraram valores entre  $35 \pm 10$  e  $31 \pm 20 \mu\text{g g}^{-1}$ , para as cultivares ‘Carmen’ e ‘Santa Cruz’, respectivamente. Estes valores diferem do presente trabalho, uma vez que os frutos considerados aptos para o consumo *in natura* estão ao redor de  $89,8 \pm 1,0 \mu\text{g g}^{-1}$  para os tomates armazenados a 25 °C (6º dia de armazenamento). Este fato se deve possivelmente à diferença na composição entre cultivares, uma vez que Assunção e Mercadante (2003) relatam que a

concentração de carotenóides varia em função da cultivar, época do ano e localização geográfica.

A Tabela 2.8 contém as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de variação de licopeno ao longo do armazenamento, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 2.8. Equações ajustadas aos valores experimentais de licopeno ( $LIC$ ) dos frutos de tomateiro, não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão induzida, em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\hat{L}IC = 15,5283 + 9,8356^{**}t - 0,3011^{**}t^2$	0,9264
TRAT	$\hat{L}IC = 3,2997 + 12,2617^{**}t - 0,4294^{**}t^2$	0,9303

\*\* Significativo a 1 % de probabilidade pelo teste “t”.

Nota-se, na Tabela 2.8, que as equações que relacionam o conteúdo de licopeno com o tempo de armazenamento apresentaram valores satisfatórios para o coeficiente de determinação, indicando que houve boa correspondência entre os dados observados e estimados pelas equações propostas.

Os valores de sólidos solúveis totais aumentaram significativamente com o tempo de armazenamento dos tomates, sendo que os frutos testemunha e tratamento diferiram a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey. A Figura 2.10 relata a evolução dos sólidos solúveis totais através da escala numérica Brix, durante o período de armazenagem destes frutos.

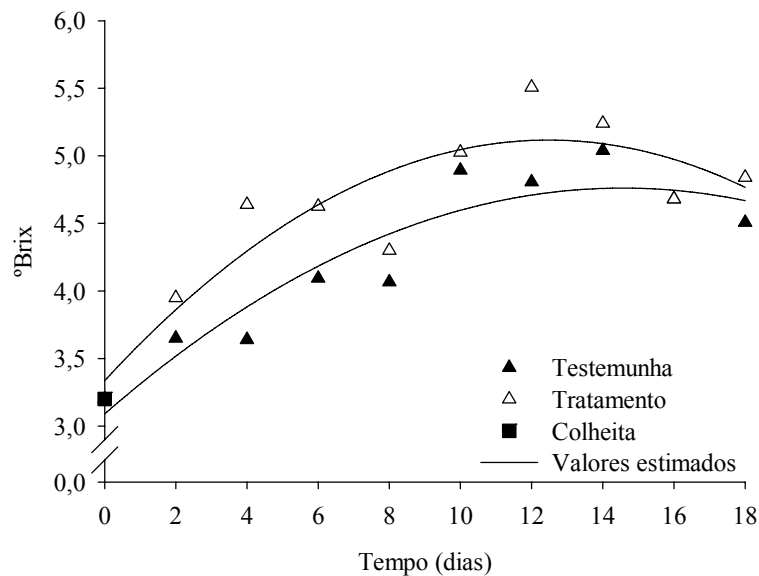


Figura 2.10. Valores observados e estimados de sólidos solúveis totais (°Brix) em frutos de tomateiro armazenados a temperatura de 25 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

Este aumento se deve à transformação do amido presente nos frutos em açúcares (Beaulieu & Lea, 2003), decorrente do processo de amadurecimento do produto (Getinet et al., 2008). Este comportamento foi encontrado em diferentes trabalhos, com diferentes frutos, dentre eles a goiaba (Oliveira et al., 2010), kiwi (Burdon et al., 2007) e mamão (Reis Neto, 2006).

Em recente estudo que analisou o efeito de diferentes embalagens na conservação da qualidade pós-colheita dos frutos de tomateiro, Sammi e Masud (2009) relataram esta mesma tendência, obtendo uma faixa de °Brix entre 3,616 e 5,250 para tomates com grau de maturação entre verde-maduro e vermelho, corroborando com o presente trabalho (3,09 a 4,78 °brix). Entretanto esta faixa não foi observada por Odriozola-Serrano et al. (2009), que trabalharam com seis diferentes cultivares de tomates maduros adquiridos em mercado local da cidade de Lleida, Espanha, encontrando valores entre 4,25 e 6,30 °brix. Isso demonstra a variabilidade entre as cultivares, se tornando necessário o estudo de diferentes produtos para se decidir qual variedade servirá para uma função específica.

Observa-se a partir do 12º dia de armazenagem um início de tendência à diminuição dos valores de sólidos solúveis totais (Figura 2.10). Este fato é um indicativo da perda de qualidade dos frutos a partir deste dia, uma vez que a perda de teor de sólidos solúveis totais ou açúcar está ligado à degradação dos frutos e

consequente perda de aroma e sabor. Getinet et al. (2008) reportaram este mesmo comportamento para dois cultivares de tomates, em diferentes estagios de maturação durante a colheita e temperaturas de armazenamento.

Os frutos submetidos ao tratamento obtiveram, em média, valores de sólidos solúveis totais (°Brix) acima dos tomates não tratados, para a temperatura de 25 °C (Tabela 2.9). Portanto, este parâmetro pode ser mensurado para discernir frutos danificados ou não ao longo do período de armazenagem, para a temperatura de 25 °C. Boyaci et al. (2004) também concluíram que a obtenção do valor de sólidos solúveis totais é uma ferramenta útil para se avaliar os danos em amido de farinha de trigo.

Tabela 2.9. Valores médios de sólidos solúveis totais (g) dos frutos de tomateiro, não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão, ao longo do armazenamento, na temperatura de 25 °C.

Tomates	Médias
TE	4,26 B
TRAT	4,60 A

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Busch et al. (2008), estudaram sete cultivares de tomates provenientes da Nova Zelândia. Estes autores concluíram que, através de análise sensorial, os tomates aptos a serem consumidos seriam aqueles com um °Brix acima de 5,2. Azodanlou et al. (2003), também através de análise sensorial, relatam que tomates com um °Brix acima de 5,1 são preferidos pelos provadores. Macua et al. (2003) relatam algumas propriedades requeridas pela indústria para a utilização dos tomates, e dentre elas está o teor de sólidos solúveis totais ( $4,61 \pm 0,92$  °brix). Dessa forma, os frutos utilizados neste trabalho somente seriam considerados aptos ao consumo a partir do 10º dia de armazenagem. Entretanto, devido aos outros parâmetros estudados e pela avaliação visual durante o experimento, essa afirmação está inadequada para a variedade estudada, uma vez que a partir deste tempo de armazenamento ocorrem incidências de microorganismos em alguns frutos, perda de coloração atraente e firmeza. Logo, não se recomenda a utilização da mensuração do teor de sólidos solúveis totais como parâmetro único de qualidade para a cultivar ‘Pizzadoro’, sendo porém uma ferramenta

indicativa de fácil acesso e rápida estimativa para a avaliação da integridade dos frutos e seu amadurecimento, como explicitado anteriormente.

A Tabela 2.10 contém as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de sólidos solúveis totais (SST) ao longo do armazenamento, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 2.10. Equações ajustadas aos valores experimentais de sólidos solúveis totais (SST) dos frutos de tomateiro não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão induzida, em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\hat{SST} = 3,0903 + 0,2295^{**}t - 0,0079^*t^2$	0,8420
TRAT	$\hat{SST} = 3,3361 + 0,2855^{**}t - 0,0114^*t^2$	0,7528

\* Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste “t”.

\*\* Significativo a 1 % de probabilidade pelo teste “t”.

Nota-se, na Tabela 2.10, que as equações que relacionam o conteúdo de sólidos solúveis totais com o tempo de armazenamento apresentaram valores satisfatórios (> 75,28 %) para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), indicando que houve boa correspondência entre os dados observados e estimados pelas equações propostas.

Os valores de pH foram influenciados significativamente pela interação entre tempo e tratamento, apresentando um decréscimo de seus valores em relação à colheita dos frutos de tomateiro. A variação do potencial hidrogeniônico para os frutos de tomateiro durante o período de análises, tanto para tomates tratados e não tratados, está apresentado na Figura 2.11.

Visualizando esta figura, nota-se que não houve um comportamento bem definido para esta variável ao longo do armazenamento. Esta falta de tendência dos valores de pH também foi encontrado por Tzortzakis (2007) pesquisando acerca dos efeitos de compostos voláteis para a manutenção da qualidade pós-colheita de tomates. Este autor encontrou uma faixa de pH de 4,0 a 4,4 durante dez dias de armazenamento.

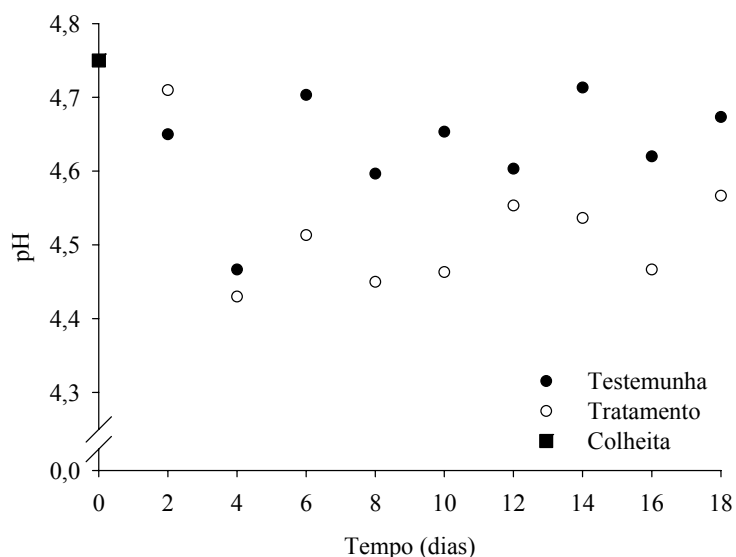


Figura 2.11. Valores observados de pH em frutos de tomateiro armazenados a temperatura de 25 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

Em contrapartida da coloração, licopeno e sólidos solúveis totais, em que o tratamento apresentou um efeito conservativo nos tomates, o mesmo não pode ser concluído para o pH. Os frutos tratados apresentaram menores valores ao longo do armazenamento em relação aos frutos testemunha. Sendo assim, os frutos tratados são de qualidade inferior aos frutos testemunha, uma vez que a perda de sabor está associada com baixos valores de pH (Mencarelli & Saltveit, 1988; Gil et al., 2002). Ademais, Odriozola-Serrano et al. (2009) explicam que a provável causa do aumento da acidez seria o crescimento de microorganismos nos tomates, sendo responsáveis pela perda de sabor e aroma dos frutos em decorrência da fermentação orgânica ácida. Este fato foi observado durante os experimentos, ocorrendo uma maior incidência nos frutos que sofreram a compressão.

Os valores de pH variaram entre 4,43 e 4,75, apresentando certa concordância com alguns trabalhos com este mesmo produto: 4,32 a 4,61 para descarte de tomate (Nunes & Mercadante, 2004) e 4,4 a 4,6 em frutos de tomateiro frescos (Tavares & Rodriguez-Amaya, 1994). Os valores médios de pH dos frutos de tomateiro para os dois lotes armazenados a 25 °C estão apresentados na Tabela 2.11.



Tabela 2.13. Valores médios de pH dos frutos de tomateiro, não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão, ao longo do armazenamento, na temperatura de 25 °C.

Tempo (dias)	TE	TRAT
0	4,75 a	4,75 a
2	4,65 a	4,71 a
4	4,47 a	4,43 a
6	4,70 a	4,51 b
8	4,60 a	4,45 b
10	4,65 a	4,46 b
12	4,60 a	4,55 a
14	4,71 a	4,54 b
16	4,62 a	4,47 b
18	4,67 a	4,57 a

Valores são a média de trinta e três leituras em cada condição de experimento e tempo de armazenamento. Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Através da análise desta tabela, observa-se que inicialmente os dois lotes de frutos apresentaram um decréscimo inicial (até 4º dia de armazenamento), como esperado. Entretanto, logo em seguida constata-se um aumento dos valores de pH, oscilando posteriormente até o fim da armazenagem.

Dessa forma, o estudo do amadurecimento dos frutos de tomateiro cv. Pizzadoro através da acidez não foi satisfatória. Entretanto, o mesmo não pode ser concluído para a diferenciação entre os frutos testemunha e tratamento. Como explicado anteriormente, os tomates tratados apresentaram menores valores que os tomates testemunha. Assim, apesar do pH não ser uma ferramenta indicadora do estágio de amadurecimento do produto, ela pode ser de importante valia para estudar o grau de danificações não visuais em tomates.

### 2.3.2 Conservação a 15 °C

É de conhecimento na comunidade científica de que baixas temperaturas diminuem as taxas respiratórias de grãos, frutos e hortaliças, aumentando assim a sua

vida pós-colheita. Dessa forma se mantém por um maior período de tempo as características organolépticas requeridas pelos consumidores, facilitando assim a sua comercialização.

### *2.3.2.1 Evolução da cor da periderme dos tomates*

Utilizando-se de ferramentas estatísticas, concluiu-se que a interação entre o tratamento e o tempo foi significativa para as coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ , sendo que apenas o tempo possibilitou diferenças significativas entre a testemunha e o tratamento para a coordenada  $L^*$ .

A Tabela 2.14 apresenta os resultados obtidos para as coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  obtidos com o uso do colorímetro ao longo do armazenamento de 18 dias.

Tabela 2.14. Valores médios das coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  da periderme dos frutos de tomateiro, não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão, ao longo do armazenamento, na temperatura de 15 °C.

Tempo (dias)	$a^*$		$b^*$	
	TE	TRAT	TE	TRAT
0	3,43 a	3,43 a	30,47 a	30,47 a
2	12,69 a	13,31 a	31,07 b	32,30 a
3	16,24 b	19,79 a	32,03 b	33,51 a
4	19,78 b	23,57 a	28,74 a	29,43 a
5	22,04 b	26,20 a	27,20 a	27,02 a
6	25,08 b	28,82 a	27,97 a	27,21 a
7	26,69 b	30,28 a	26,85 a	26,21 a
8	29,14 b	32,04 a	27,16 a	26,51 a
9	30,02 a	32,19 a	26,12 a	25,22 a
10	31,29 a	32,58 a	25,68 a	24,57 b
11	31,60 a	32,46 a	24,35 a	23,49 a
12	32,01 a	32,12 a	23,49 a	22,55 a
13	32,59 a	32,61 a	23,43 a	22,91 a
14	32,82 a	31,60 a	23,43 a	21,82 b
15	33,14 a	32,75 a	23,68 a	23,29 a
16	33,13 a	32,51 a	23,55 a	22,81 a
17	32,98 a	32,60 a	23,09 a	22,64 a
18	33,11 a	33,00 a	23,39 a	23,39 a

Valores são a média de quarenta e cinco leituras em cada condição de experimento e tempo de armazenamento. Para a mesma variável, as médias seguidas por uma mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Analisando a Tabela 2.14, percebe-se que a coordenada  $a^*$  sofre alteração expressiva de seus valores. Ela apresentou um aumento ao redor de 865,31 % para os frutos testemunha e 862,10 % para os tomates tratados. Apesar de o incremento

apresentado ser próximo para os lotes, o tratamento interferiu significativamente no amadurecimento do produto, em que os frutos tratados apresentaram maiores valores iniciais até o 8º dia de armazenamento, além de atingirem a constância de seus valores em uma velocidade maior quando comparado aos frutos testemunha. Este fato ocorreu a partir do 8º e 12º dia de análises, respectivamente para o tratamento e a testemunha. Esta tendência é claramente visualizada pela Figura 2.12.

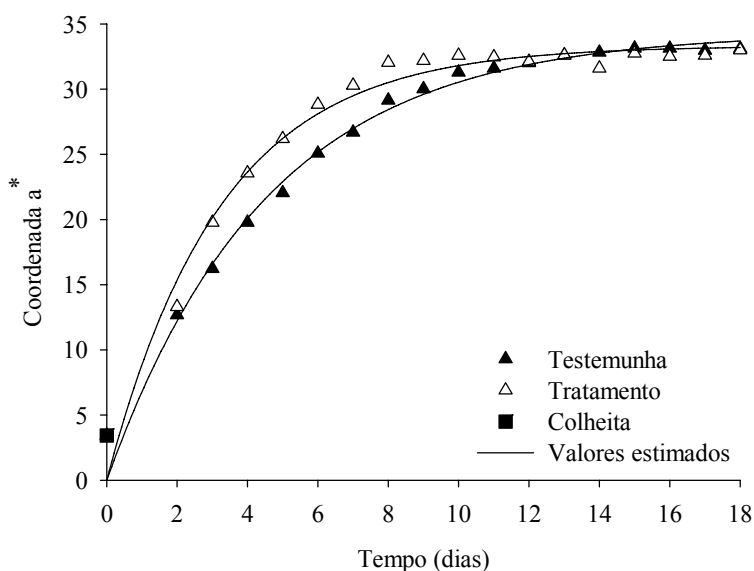


Figura 2.12. Valores observados e estimados da coordenada  $a^*$  da periderme dos frutos de tomateiro armazenados na temperatura de 15 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

A perda da clorofila e a síntese de carotenóides são os principais fatores relacionados às variações das coordenadas colorimétricas. Como a coordenada  $a^*$  define a coloração entre verde e vermelho, é de se esperar que esta coordenada vá se alterar com maior evidência em relação às outras, uma vez que os tomates são frutos com coloração iniciais e finais verdes e vermelhos, respectivamente.

As variações da coordenada  $b^*$  em função do tempo de armazenamento podem ser observadas pela Figura 2.13.

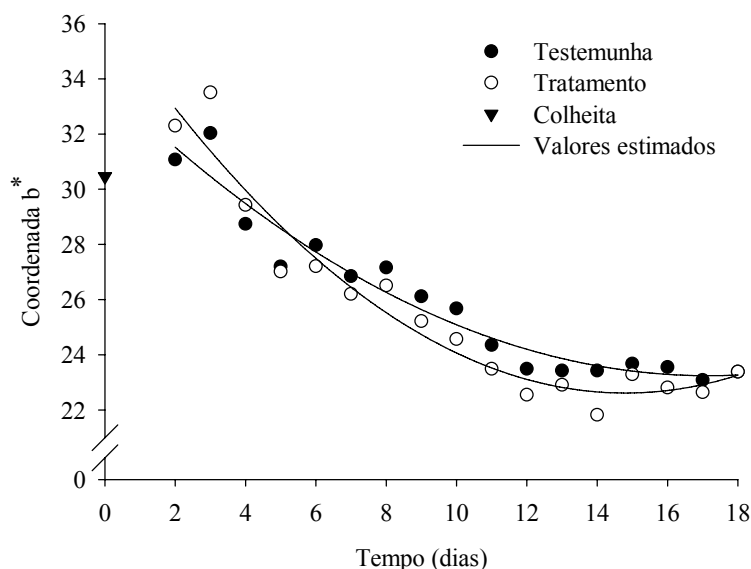


Figura 2.13. Valores observados e estimados da coordenada  $b^*$  da periderme dos frutos de tomateiro armazenados na temperatura de 15 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

Assim como para a temperatura de 25 °C, a coordenada  $b^*$  apresentou um ligeiro aumento no 2º e 3º dias de armazenamento, seguidos de um decréscimo significativo ao longo da armazenagem dos tomates a temperatura de 15 °C (Figura 2.13). Fraser et al. (1994), Choi et al. (1995) e López Camelo e Gómez (2004) relatam que este incremento inicial se deve ao aumento da concentração de carotenóides responsáveis pela coloração amarelada nos frutos. As variações desta coordenada se tornaram praticamente nulas a partir do 12º dia de armazenamento para os frutos testemunha, ao passo que os frutos tratados a mesma tendência ocorreu ao redor do 15º dia.

Assim como a coordenada  $b^*$ , a coordenada  $L^*$  decresceu com o passar do tempo (Figura 2.14), retratando o escurecimento e a perda de brilho da coloração característica dos frutos. A partir do 10º dia de armazenamento nota-se que a taxa de variação diária foi baixa, indicando que ocorreu o máximo amadurecimento. Este fato também ocorreu para todos os índices de qualidade dos frutos armazenados a 25 °C.

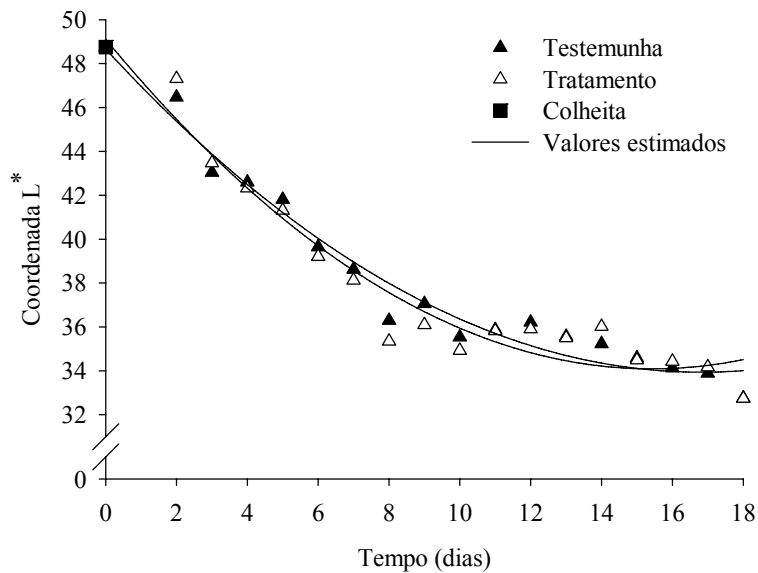


Figura 2.14. Valores observados e estimados da coordenada  $L^*$  da periderme dos frutos de tomateiro armazenados na temperatura de 15 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

A Tabela 2.15 contém as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ , bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 2.15. Equações ajustadas aos valores experimentais das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  da periderme dos frutos de tomateiro armazenados a 15 °C em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
	$\hat{L}^* = 48,6638 - 1,7504^{**}t + 0,0520^{**}t^2$	0,9659
TE	$\hat{a}^* = 34,3433[1 - \exp(-0,2199t)]$	0,9871
	$\hat{b}^* = 33,8500 - 1,2361^{**}t + 0,0360^{**}t^2$	0,9319
TRAT	$\hat{L}^* = 49,1092 - 1,9482^{**}t + 0,0632^{**}t^2$	0,9396
	$\hat{a}^* = 34,3198[1 - \exp(-0,3091t)]$	0,9778
	$\hat{b}^* = 36,4169 - 1,8649^{**}t + 0,0630^{**}t^2$	0,9339

\*\* Significativo a 1 % de probabilidade pelo teste “t”.

Todos os parâmetros das equações propostas foram significativos ( $p < 0,01$ ) e as equações apresentaram elevados coeficientes de determinação, indicando assim que o comportamento durante o armazenamento das variáveis foi bem explicado pelas equações apresentadas. Os dois índices colorimétricos, croma e ângulo hue, estão apresentados nas Figuras 2.15 e 2.16 respectivamente.

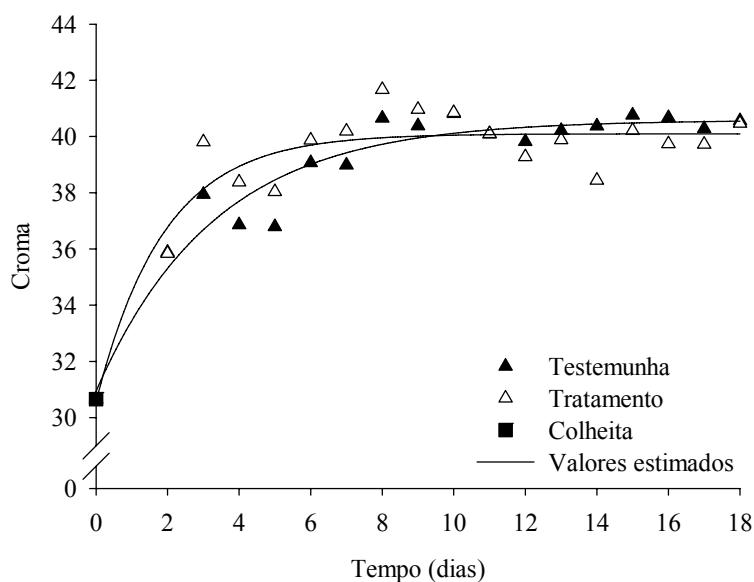


Figura 2.15. Valores observados e estimados do índice colorimétrico croma ( $C^*$ ) da periderme dos frutos de tomateiro armazenados na temperatura de 15 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

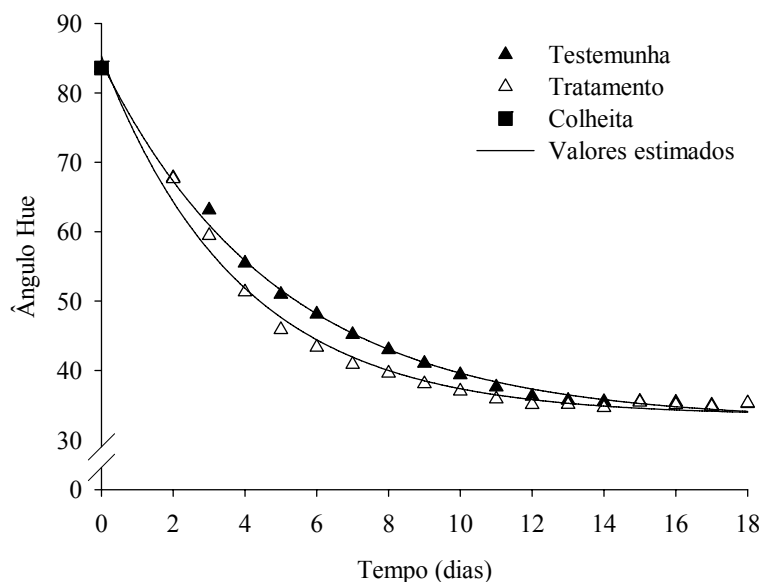


Figura 2.16. Valores observados e estimados do índice colorimétrico ângulo hue ( $h^*$ ) da periderme dos frutos de tomateiro armazenados na temperatura de 15 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

Estes dois índices variaram significativamente ao longo do tempo, sendo que a interação entre o tratamento e o tempo também foi significativa a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey para o índice croma, ao passo que o ângulo hue alterou significativamente pela ação isolada do tratamento.

Os valores de ângulo hue decresceram em função do tempo de armazenamento (Figura 2.16) em ambas as condições experimentais. O tratamento ocasionou menores valores deste índice colorimétrico, corroborando assim com o relatado para o croma, em que os frutos tratados apresentaram inicialmente um maior nível de amadurecimento.

Os frutos tratados obtiveram maiores valores médios de croma em relação à testemunha até o 11º dia de armazenamento, tornando-se praticamente constantes a partir deste dia. Isto significa que o tratamento acelerou o amadurecimento dos frutos armazenados a 15 °C, fato este contrário ao observado pelos frutos armazenados a 25 °C. Este comportamento provavelmente está relacionado à atividade metabólica dos tomates na menor temperatura, em que possibilitou aos frutos testemunha uma menor taxa respiratória e conseqüentemente uma desaceleração da alteração colorimétrica, não apresentando a discrepância inicial observado para os frutos armazenados a 25 °C. Apesar desta temperatura retardar a taxa respiratória, este fato isolado não foi suficiente



para diminuir esta taxa nos tomates tratados, indicando que o tratamento afetou o produto.

A Tabela 2.16 contém os valores médios do croma relativo à coloração da pele os tomates armazenados a 15 °C durante o armazenamento.

Tabela 2.16. Valores médios do índice colorimétrico croma ( $C^*$ ) da periderme dos frutos de tomateiro, não-submetidos (testemunha) e submetidos (tratamento) à compressão, ao longo do armazenamento, na temperatura de 15 °C.

Tempo (dias)	Testemunha	Tratamento
0	30,66 a	30,66 a
2	35,88 a	35,84 a
3	37,94 b	39,81 a
4	36,86 b	38,38 a
5	36,79 b	38,04 a
6	39,07 a	39,87 a
7	38,98 b	40,19 a
8	40,65 a	41,67 a
9	40,38 a	40,96 a
10	40,82 a	40,85 a
11	40,09 a	40,10 a
12	39,82 a	39,28 a
13	40,21 a	39,88 a
14	40,37 a	38,44 b
15	40,76 a	40,21 a
16	40,67 a	39,74 a
17	40,28 a	39,72 a
18	40,56 a	40,47 a

Valores são a média de quarenta e cinco leituras em cada condição de experimento e tempo de armazenamento. Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

Pela Tabela 2.16 observa-se que inicialmente ocorrem maiores variações, indicando que o amadurecimento dos tomates está acontecendo de forma acelerada, sendo que a partir do 8º dia de armazenamento a variação do lote testemunha se torna

pequena, ao passo que os frutos tratados apresentaram uma oscilação a partir do 7º dia. Possíveis rearranjos dos frutos no interior das caixas podem acarretar diferenças de forças entre os frutos, indicando assim um amadurecimento não-homogêneo de cada amostra dos lotes, sendo uma provável causa desta oscilação apresentada pelos frutos tratados.

Na Tabela 2.17 estão apresentados os valores médios de ângulo hue para os frutos armazenados a 15 °C, tratados e não tratados, ao longo do tempo de armazenamento.

Tabela 2.17. Valores médios do índice colorimétrico ângulo hue ( $h^*$ ) da periderme dos frutos de tomateiro, não-submetidos (testemunha) e submetidos (tratamento) à compressão, ao longo do armazenamento, na temperatura de 15 °C.

Tomates	Médias
TE	45,03 A
TRAT	41,59 B

Médias seguidas por uma mesma letra maiúscula na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

As equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de variação dos índices colorimétricos croma e ângulo hue ao longo do armazenamento, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) estão apresentados na Tabela 2.18.

Tabela 2.18. Equações ajustadas aos valores experimentais dos índices colorimétricos croma ( $C^*$ ), ângulo hue ( $h^*$ ) da periderme dos frutos de tomateiro em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Condição do Experimento	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\hat{C}^* = 30,9378 + 9,6490[1 - \exp(-0,3019t)]$	0,9230
	$\hat{h}^* = 32,7270 + 51,7071\exp(-0,2016t)$	0,9962
TRAT	$\hat{C}^* = 30,5604 + 9,5366[1 - \exp(-0,5275t)]$	0,8452
	$\hat{h}^* = 33,4964 + 51,8059\exp(-0,2594t)$	0,9896

Para os dois índices, uma variação exponencial foi a que melhor representou seus comportamentos, entretanto para o croma a tendência foi de aumento exponencial, enquanto que para o ângulo hue foi o oposto. As equações propostas apresentaram níveis satisfatórios de coeficientes de determinação, sendo, portanto aptas para descrever a variação dos índices durante o armazenamento.

#### *2.3.2.1.1 Diferenças da cor da periderme dos tomates*

Os resultados das diferenças colorimétricas em relação ao tempo, utilizando-se da média de quarenta e cinco observações durante o armazenamento de 18 dias, estão apresentados na Tabela 2.19.

Tabela 2.19. Diferenças de cor da periderme dos frutos de tomateiro em relação ao tempo, para a temperatura de 15 °C.

Tempo (dias)	$\Delta L^*$		$\Delta a^*$		$\Delta b^*$		$\Delta E$	
	TE	TRAT	TE	TRAT	TE	TRAT	TE	TRAT
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-2,288	-1,434	9,258	9,879	0,609	1,835	9,556	10,150
3	-5,714	-5,282	12,812	16,356	1,567	3,040	14,115	17,455
4	-6,156	-6,424	16,355	20,137	-1,724	-1,036	17,560	21,162
5	-6,948	-7,439	18,615	22,767	-3,269	-3,449	20,136	24,199
6	-9,108	-9,545	21,647	25,391	-2,493	-3,258	23,617	27,320
7	-10,127	-10,625	23,258	26,852	-3,616	-4,259	25,623	29,190
8	-12,455	-13,407	25,715	28,608	-3,302	-3,958	28,763	31,840
9	-11,693	-12,658	26,591	28,758	-4,350	-5,251	29,372	31,856
10	-13,220	-13,826	27,858	29,152	-4,785	-5,896	31,204	32,799
11	-12,880	-12,936	28,168	29,028	-6,112	-6,975	31,571	32,537
12	-12,538	-12,845	28,585	28,687	-6,975	-7,914	31,984	32,413
13	-13,189	-13,252	29,165	29,178	-7,037	-7,559	32,773	32,926
14	-13,520	-12,733	29,395	28,166	-7,039	-8,643	33,112	32,096
15	-14,169	-14,258	29,711	29,320	-6,787	-7,173	33,609	33,383
16	-14,625	-14,320	29,702	29,077	-6,913	-7,652	33,822	33,303
17	-14,864	-14,574	29,547	29,166	-7,379	-7,821	33,888	33,530
18	-16,000	-16,012	29,683	29,575	-7,081	-7,080	34,456	34,369

Analisando a Tabela 2.19 observa-se que, para uma mesma variável e condição do experimento (coluna), inicialmente ocorrem maiores variações entre os tempos de armazenagem, fato este relacionado ao amadurecimento dos frutos. Com a continuação do amadurecimento, estas variações tendem a se tornarem menores. Este fato ocorre aproximadamente no 10º dia de armazenamento para as coordenadas  $L^*$  e  $a^*$  e para a diferença total de cor. Como explicitado anteriormente, a coordenada  $b^*$  apresentou um

tempo de armazenamento de pequenas variações entre si seguidos de uma maior variação, oscilando dessa maneira até o fim do armazenamento dos frutos.

A análise de variância da diferença total de cor indicou que a mesma sofreu variações significativas ao longo do tempo de armazenagem pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ), assim como aconteceu para os tomates armazenados a 25 °C. Portanto, independentemente da temperatura, o desenvolvimento do fruto e as alterações pertinentes a esta transformação, tais como mudanças no sabor, cor, aroma e textura, ocorreu ao longo do tempo.

A Figura 2.17 mostra o comportamento de  $\Delta E$  em função do tempo de armazenagem na temperatura de 15 °C.

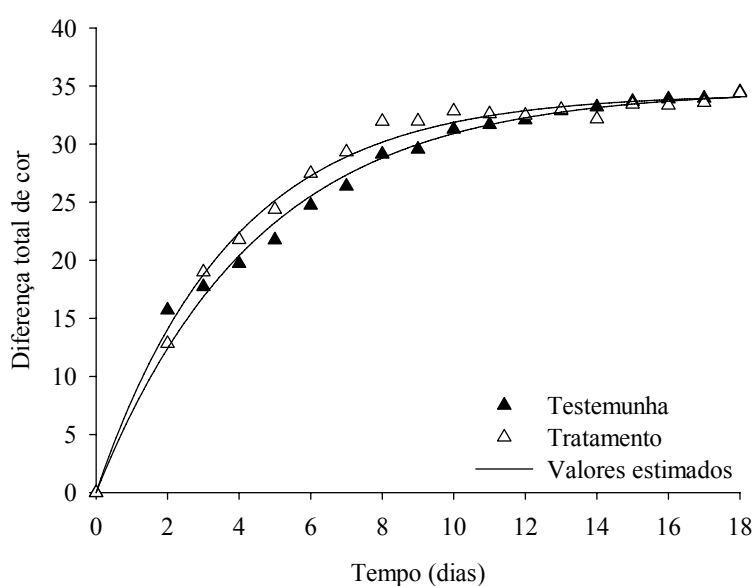


Figura 2.17. Valores observados e estimados da diferença total de cor ( $\Delta E$ ) da periderme dos frutos de tomateiro armazenados na temperatura de 15 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

Percebe-se que os valores de  $\Delta E$  para os frutos tratados foram sempre maiores que os frutos testemunha, exceto para o 2º dia de armazenagem. Essa superioridade tendeu a se perder com o passar do tempo de armazenagem, sendo observada para o 10º dia de armazenagem.

A Tabela 2.20 contém as equações de regressão para a diferença total de cor da periderme dos frutos de tomateiro em função do tempo de armazenagem, bem como seus respectivos coeficientes de determinação.

Os resultados das diferenças de cor entre a testemunha e o tratamento estão apresentados na Tabela 2.21. Estes valores foram calculados através das Equações 2.3, 2.4 e 2.5.

Tabela 2.20. Equações ajustadas aos valores experimentais de diferença total de cor ( $\Delta E$ ) da periderme dos frutos de tomateiro, não-submetidos (TE) e submetidos à compressão (TRAT) induzida, em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\Delta \hat{E} = 34,6974 [1 - \exp(-0,2217t)]$	0,9872
TRAT	$\Delta \hat{E} = 34,3305 [1 - \exp(-0,2637t)]$	0,9924

Tabela 2.21. Diferenças de cor da periderme dos frutos de tomateiro entre a testemunha e o tratamento, para a temperatura de 15 °C.

Tempo (dias)	$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E$
	TRAT/TE	TRAT/TE	TRAT/TE	TRAT/TE
0	0,000	0,000	0,000	0,000
2	-0,854	-0,621	-1,227	1,618
3	-0,432	-3,545	-1,472	3,863
4	0,268	-3,782	-0,688	3,853
5	0,491	-4,152	0,181	4,185
6	0,437	-3,744	0,764	3,846
7	0,498	-3,594	0,643	3,685
8	0,952	-2,893	0,656	3,115
9	0,966	-2,167	0,901	2,538
10	0,606	-1,294	1,110	1,810
11	0,055	-0,860	0,864	1,220
12	0,307	-0,102	0,939	0,993
13	0,063	-0,013	0,521	0,525
14	-0,787	1,228	1,604	2,168
15	0,089	0,391	0,386	0,557
16	-0,304	0,625	0,740	1,015
17	-0,289	0,381	0,442	0,652
18	0,012	0,108	-0,001	0,109

Pela magnitude da diferença total de cor, observa-se a pouca influencia do tratamento na cor da pele dos frutos armazenados a 15 °C. Ademais, a variação da diferença total de cor passou a se tornar pequena, tendendo a uma constante, a partir do 10º dia de armazenamento, fato também observado para todos os índices de qualidade restantes.

### 2.3.2.2 Alterações químicas dos tomates

O tratamento por si só não foi capaz de promover diferenças significativas entre os lotes, entretanto sua interação com o tempo acarretou em valores médios significativamente diferentes entre os lotes ( $p < 0,05$ ), tal qual como relatado para os frutos a 25 °C. Os valores de licopeno aumentaram significativamente com o tempo de armazenamento (Figura 2.18), variando entre 2,25 a 145,17  $\mu\text{g g}^{-1}$ .

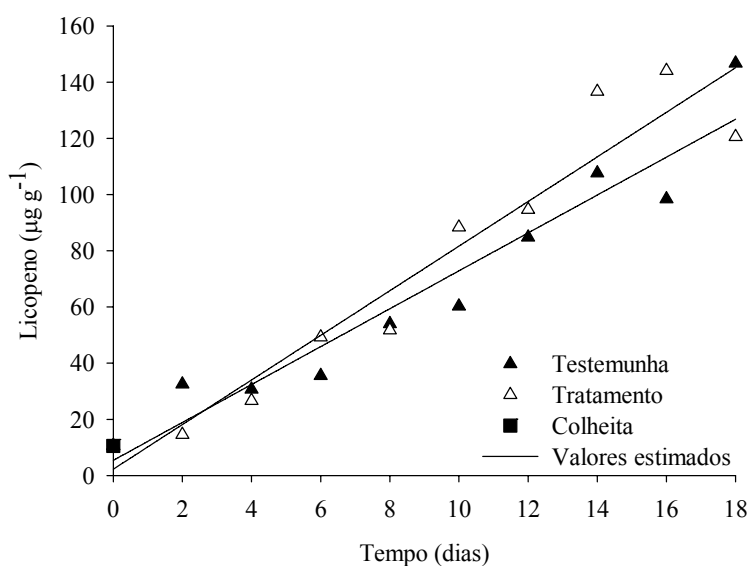


Figura 2.18. Valores observados e estimados do teor de licopeno em frutos de tomateiro armazenados a temperatura de 15 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

Percebe-se que, em geral, os frutos armazenados a 15 °C apresentaram maiores valores em relação aos frutos a 25 °C. Este efeito negativo da maior temperatura na síntese de licopeno também foi encontrado por outros pesquisadores (Saltveit & Cabrera, 1987; Cheng et al., 1988; Sozzi et al., 1996; Soto-Zamora et al., 2005), e um trabalho em particular relacionou este fato a um amadurecimento anormal dos frutos de tomate (Hamauza & Chachin, 1995). Entretanto, neste trabalho este fato pode ser explicado pela taxa de degradação do produto, em que a maior taxa respiratória dos frutos armazenados a 25 °C acaba por levar a uma rápida transição entre a síntese e a degradação do licopeno.

Diferentemente dos frutos armazenados a 25 °C, os frutos armazenados a 15 °C não apresentaram um pico máximo de seus valores seguido de uma manutenção dos valores de licopeno (Figura 2.18). Este comportamento possivelmente é devido ao fato



de que, apesar dos frutos apresentarem uma coloração homogênea ao final do armazenamento, as variações colorimétricas nesta temperatura foram maiores ao longo do tempo em vista à outra temperatura.

Através de análise subjetiva de aparência, aroma e textura durante o experimento, constatou-se que os frutos armazenados a 15 °C estariam aptos ao consumo *in natura* até o 10º dia de armazenamento, girando ao redor de um valor médio de  $74,3 \pm 14 \mu\text{g g}^{-1}$  para os frutos armazenados a 15 °C. Os valores de teor de licopeno para os frutos de tomateiro armazenados a 15 °C estão apresentados na Tabela 2.22.

Tabela 2.22. Valores médios de licopeno ( $\mu\text{g g}^{-1}$ ) dos frutos de tomateiro, não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão, ao longo do armazenamento, na temperatura de 15 °C.

Tempo (dias)	TE	TRAT
0	10,56 a	10,56 a
2	32,50 a	14,58 a
4	30,70 a	26,62 a
6	35,50 a	49,23 a
8	54,00 a	51,77 a
10	60,26 a	88,38 a
12	84,79 a	94,64 a
14	107,66 a	136,67 a
16	98,41 b	144,14 a
18	146,75 a	120,58 a

Valores são a média de trinta e três leituras em cada condição de experimento e tempo de armazenamento. Médias seguidas por uma mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade.

A Tabela 2.23 contém as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de variação de licopeno ao longo do armazenamento, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ). As equações lineares foram satisfatórias para a representação da variação do licopeno ao longo do armazenamento, apresentando parâmetros significativos e  $R^2$  acima 90 %.

Tabela 2.23. Equações ajustadas aos valores experimentais de licopeno (*LIC*) dos frutos de tomateiro, não-submetidos (TE) e submetidos (TRAT) à compressão induzida, armazenados a temperatura de 15 °C em função do tempo de armazenamento (*t*), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\hat{L}IC = 5,4047 + 6,7454^{**} t$	0,9172
TRAT	$\hat{L}IC = 2,2563 + 7,9399^{**} t$	0,9126

\*\* Significativo a 1 % de probabilidade pelo teste “t”.

Os valores de sólidos solúveis totais (SST) aumentaram significativamente com o tempo de armazenamento dos tomates, sendo que não houve diferenças significativas entre os frutos testemunha e tratamento a 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

A Figura 2.19 apresenta a evolução dos sólidos solúveis totais através da escala numérica Brix, durante o período de armazenagem dos frutos de tomateiro armazenados a 15 °C.

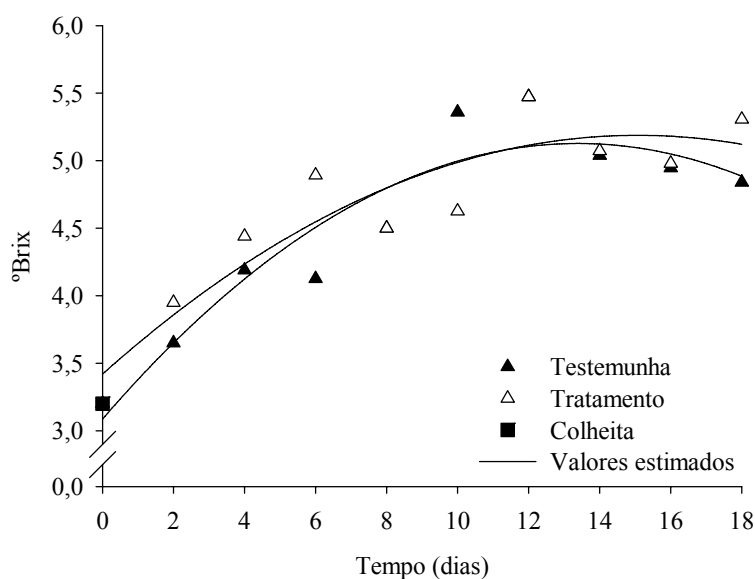


Figura 2.19. Valores observados e estimados de sólidos solúveis totais (°Brix) em frutos de tomateiro armazenados a temperatura de 15 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

Diferentemente do relatado para os tomates armazenados a temperatura de 25 °C, a mensuração dos sólidos solúveis totais não pode ser utilizada para a diferenciação de frutos danificados ou não pela compressão. No entanto, percebe-se que seus valores

variam com o tempo de armazenamento e, conseqüentemente, com o amadurecimento do produto, podendo ser utilizada para se obter o grau de maturidade dos frutos de tomateiro.

Os valores de SST, em ambos os lotes, apresentaram um patamar, sendo um forte indicativo de que os tomates atingiram o seu máximo amadurecimento. Após este fato, nota-se o início do decréscimo dos valores de SST, acontecimento este relacionado à degradação dos frutos em razão de ataques por microorganismos e natural senescência do produto, comportamento este também reportado por Hobson e Davies (1971).

A Tabela 2.24 apresenta as equações de regressão propostas para representar os dados experimentais de sólidos solúveis totais (SST) ao longo do armazenamento, bem como seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tabela 2.24. Equações ajustadas aos valores experimentais de sólidos solúveis totais (SST) dos frutos de tomateiro em função do tempo de armazenamento ( $t$ ), com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

Tomates	Equação de regressão	$R^2$
TE	$\hat{SST} = 3,0859 + 0,3051^{**}t - 0,0114^{**}t^2$	0,8602
TRAT	$\hat{SST} = 3,4197 + 0,2347^{**}t - 0,0078^*t^2$	0,7528

\* Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste “t”.

\*\* Significativo a 1 % de probabilidade pelo teste “t”.

Os tomates armazenados a 15 °C apresentaram uma variação significativa de pH com o tempo de armazenamento, sem no entanto, sofrerem diferenças ( $p < 0,05$ ) entre as médias dos frutos testemunha e tratamento. Igualmente aos frutos armazenados a 25 °C, observar-se que o pH não apresentou um comportamento bem definido ao longo do armazenamento (Figura 2.20).

Como resultado da proliferação de microorganismos e da atividade metabólica dos frutos, verifica-se que o aumento da acidez com o passar do tempo de armazenamento apresentada na Figura 2.20 é esperada. Em contraste à outra temperatura, o tratamento não foi significativo para esta variável resposta, indicando que a menor temperatura foi capaz de conter as alterações químicas, especificamente a síntese de ácidos málico e cítrico (Davies & Hobson, 1981), decorrentes do tratamento. Esta manutenção promovida pela temperatura de 15 °C também foi apresentada por

Toor e Savage (2006) estudando os componentes antioxidantes dos tomates na vida pós-colheita.

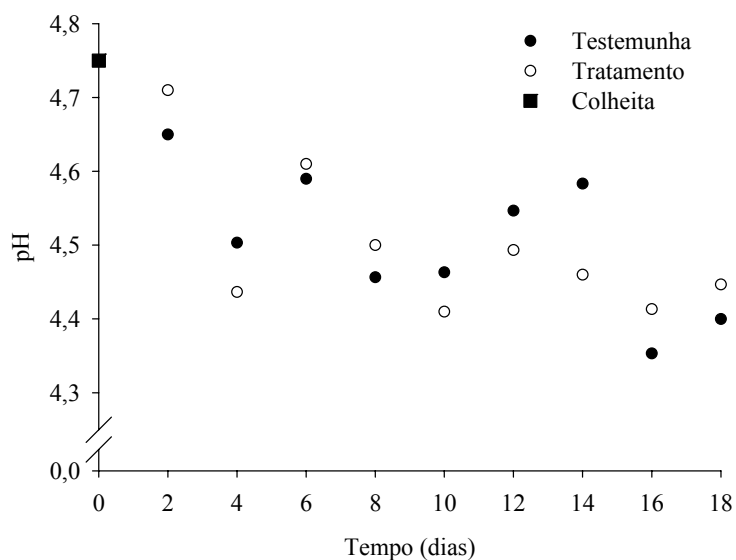


Figura 2.20. Valores observados de pH em frutos de tomateiro armazenados a temperatura de 15 °C, não submetidos (testemunha) e submetidos à compressão (tratamento), ao longo do armazenamento.

É evidente que o estudo das danificações em tomates em razão da compressão de 50 N e armazenados a 15 °C através da acidez é falha, uma vez que não houve diferenças estatísticas entre os frutos testemunha e tratamento. Entretanto, a sua relação com o estágio de amadurecimento dos frutos é satisfatória, tal qual ocorrido na variação dos sólidos solúveis totais.

## 2.4 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos e nas condições em que foram realizados os experimentos, conclui-se que:

1. O amadurecimento dos tomates pôde ser analisado através da cor da periderme avaliada pela escala de Hunter ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ), variando seus valores durante o armazenamento;

2. O croma, ângulo hue e a diferença total de cor apresentaram diferenças entre o tratamento e a testemunha para os frutos armazenados em ambas as temperaturas;
3. O teor de licopeno apresentou um incremento durante o armazenamento, sendo que a interação entre a compressão induzida e o tempo provocou diferenças entre os frutos testemunha e tratamento;
4. O tratamento de compressão alterou os valores de teor de sólidos solúveis totais apenas nos tomates armazenados na temperatura de 25 °C, sendo que os frutos tratados apresentaram maiores valores em relação à testemunha;
5. O tratamento de compressão alterou o pH dos frutos de tomateiro na temperatura de 25 °C, obtendo menores valores em relação à testemunha;

## 2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBOTT, J.A. Quality measurement of fruits and vegetables. **Postharvest Biology and Technology**, v. 15, n. 3, p. 207 – 225, 1999.

AMARAL JÚNIOR, A.T.; CASALI, V.W.D.; CRUZ, C.D.; FINGER, F.L. Inferências genéticas na produção e qualidade de tomateiro sob cruzamento dialélico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 8, p. 1407 – 1416, 1999.

ASSUNÇÃO, R.B.; MERCADANTE, A.Z. Carotenoids and ascorbic acid from cashew apple (*Anacardium occidentale* L.): variety and geographic effects. **Food Chemistry**, v. 81, n. 4, p. 495 – 502, 2003.

AZONDALOU, R.; DARBELLAY, C.; LUISIER, J-L.; VILLETZAZ, J-C; AMADÒ, R. Development of a model for quality assessment of tomatoes and apricots. **LWT – Food Science and Technology**, v. 36, p. 223 – 233, 2003.

BEAULIEU, J.C.; LEA, J.M. Volatile and quality changes in fresh-cut mangos prepared from firm-ripe and soft-ripe fruit, stored in clamshell containers and passive MAP. **Postharvest Biology and Technology**, v. 30, p. 15 – 28, 2003.

BOYACI, I.H.; WILLIAMS, P.C.; KÖKSEL, H. A rapid method for the estimation of damaged starch in wheat flours. **Journal of Cereal Science**, v. 39, p. 139 – 145, 2009.

BRAMLEY, P.M. Is lycopene beneficial to human health? **Phytochemistry**, v. 54, n. 3, p. 233 – 236, 2000.

BURDON, J.; LALLU, N.; FRANCIS, K.; BOLDINGH, H. The susceptibility of kiwifruit to low temperature breakdown is associated with pre-harvest temperatures and at-harvest soluble solids content. **Postharvest Biology and Technology**, v. 43, p. 283 – 290, 2007.

BUSCH, J.M.; SAVAGE, G.P.; SEARLE, B.P. Sensory evaluation and physico-chemical measurements of tomatoes commonly consumed in New Zealand. **International Journal of Consumer Studies**, v. 32, p. 535 – 544, 2008.

CARVALHO, W.; FONSECA, M.E.N.; SILVA, H.R.; BOITEUX, L.S.; GIORDANO, L.B. Estimativa indireta de teores de licopeno em frutos de genótipos de tomateiro via análise colorimétrica. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 232, n. 3, p. 819 – 825, 2005.

CHENG, T.S.; FLORES, J.D.; SHEWFELT, R.L.; CHANG, C.J. The effect of high temperature storage on ripening of tomatoes. **Journal of Plant Physiology**, v. 132, p. 459 – 464, 1988.

CHOI, K.; LEE, G.; HAN, Y.J.; BUNN, J.M. Tomato maturity evaluation using color image analysis. **Transactions of the ASAE**, v. 38, n. 1, p. 171 – 176, 1995.

CHOI, S.T.; TSOUVALTZIS, P.; LIM, C.I.; HUBER, D.J. Suppression of ripening and induction of asynchronous ripening in tomato and avocado fruits subjected to complete or partial exposure to aqueous solutions of 1-methylcyclopropane. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 2, p. 206 – 214, 2008.

DAVIES, J.N.; HOBSON, G.E. The constituents of tomato fruit — the influence of environment, nutrition, and genotype. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 15, p. 205 – 280, 1981.

DEWANTO, V.; WU, X.; ADOM, K.K.; LIU, R.H. Thermal processing enhances the nutritional value of tomatoes by increasing total antioxidant activity. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 10, p. 3010 – 3014, 2002.

FERRER, A.; REMÓN, S.; NEGUERUELA, A.I.; ORIA, R. Changes during the ripening of the very late season Spanish peach cultivar Calanda Feasibility of using CIELAB coordinates as maturity indices. **Scientia Horticulturae**, v. 105, p. 435 – 446, 2005.

FRASER, P.D.; TRUESDALE, M.R.; BIRD, C.R.; SCHUCH, W.; BRAMLEY, P.M. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. **Plant Physiology**, v. 105, p. 405 – 413, 1994.

GETINET, H.; SEYOUM, T.; WOLDETSADIK, K. The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v. 87, p. 467 – 478, 2008.

GIL, M.I.; CONESA, M.A.; ARTÉS, F. Quality changes in fresh cut tomato as affected by modified atmosphere packaging. **Postharvest Biology and Technology**, v. 25, p. 199 – 207, 2002.

GIOVANNUCCI, E. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 91, n. 4, p. 317 – 328, 1999.

GIOVANNUCCI, E.; RIMM, E.B.; LIU, Y.; STAMPFER, M.J.; WILLET, W.C. A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 94, n. 5, p. 391 – 398, 2002.

HAMAUZA, Y.; CHACHIN, K. Effect of high temperature on postharvest of carotene and a-tocoferol in tomato fruit. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 63, p. 879 – 886, 1995.

HERNÁNDEZ, M.S.; MARTÍNEZ, M.S.; FERNÁNDEZ-TRUJILLO, J.P. Behavior of arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) fruit quality traits during growth, development and ripening. **Scientia Horticulturae**, v. 111, p. 220 – 227, 2007.

HOBSON, G.E.; DAVIES, J.N. The tomato. In: HULME, A.C. (Ed.). **The biochemistry of fruits and their products**. London: Academic Press Inc. Ltda., v. 2., p. 437 – 482, 1971.

JACOMINO, A.P.; TREVISAN, M.J.; ARRUDA, M.C.; KLUGE, R.A. Influência do intervalo entre a colheita e a aplicação do 1-metilciclopropeno no controle do amadurecimento de mamão. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 29, p. 456 – 459, 2007.

JING, Y.; MAO-RUN, F.; YU-YING, Z.; LIN-CHUN, M. Reduction of chilling injury and ultrastructural damage in cherry tomato fruits after hot water treatment. **Agricultural Sciences in China**, v. 8, n. 3, p. 304 – 310, 2009.

LIU, L.H.; ZABARAS, D.; BENNETT, L.E.; AGUAS, P.; WOONTON, B.W. Effects of UV-C, red light and sun light on the carotenoid content and physical qualities of tomatoes during post-harvest storage. **Food Chemistry**, v. 115, p. 495 – 500, 2009.

LÓPEZ CAMELO, A.F.; GÓMEZ, P.A. Comparison of color indexes for tomato ripening. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 3, p. 534 – 537, 2004.

MACUA, J.I.; LAHOZ, I.; GARNICA, J.; SANTOS, A. Tomate de industria. **Navarra Agraria**, v. 136, p. 13 – 22, 2003.

MENCARELLI, F.; SALTVEIT, M.E. Ripening of mature-green tomato fruit slices. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 113, p. 742 – 745, 1988.

MUSKOVICS, G.; FELFÖLDI, J.; KOVÁCS, E.; PERLAKI, R.; KÁLLAY, T. Changes in physical properties during fruit ripening of Hungarian sweet cherry (*Prunus avium* L.) cultivars. **Postharvest Biology and Technology**, v. 40, p. 56 – 63, 2006.

NUNES, I.L.; MERCADANTE, A.Z. Obtenção de cristais de licopeno a partir de descarte de tomate. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 3, p. 440 – 447, 2004.

ODRIOZOLA-SERRANO, I.; SOLIVA-FORTUNY, R.; HERNÁNDEZ-JOVER, T.; MARTÍN-BELLOSO, O. Carotenoid and phenolic profile of tomato juices processed by high intensity pulsed electric fields compared with conventional thermal treatments. **Food Chemistry**, v. 112, p. 258 – 266, 2009.

OLIVEIRA, G.H.H.; CORRÊA, P.C.; BAPTESTINI, F.M.; FREITAS, R.L.; VASCONCELLOS, D.S.L. Controle do amadurecimento de goiabas ‘Pedro Sato’ tratadas por frio. **Enciclopédia Biosfera**, v. 6, n. 9, p. 1 – 15, 2010.

PRADO, R.M.; NATALE, W.; SILVA, J.A.A. Liming and quality of guava fruit cultivated in Brazil. **Scientia Horticulturae**, v. 106, p. 91 – 102, 2005.

PROGRAMA BRASILEIRO PARA A MODERNIZAÇÃO DA HORTICULTURA. **Norma de Classificação do Tomate**. São Paulo: Centro de Qualidade em Horticultura – CQH/CEAGESP, 2003. (CQH. Documentos, 26).

REIS NETO, S.A. **Qualidade pós-colheita do mamão (*Carica papaya*) cv. Golden armazenado sob atmosferas modificadas**. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

RODRIGUEZ-AMAYA, D.B.; KIMURA, M.; GODOY, H.T.; AMAYA-FARFAN, J. Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 21, p. 445 – 463, 2008.

ROLDÁN-GUTIÉRREZ, J.M.; CASTRO, M.D.L. Lycopene: The need for better methods for characterization and determination. **Trends in Analytical Chemistry**, v. 26, n. 2, p. 163 – 170, 2007.

SALTVEIT, M.E.; CABRERA, R.M. Tomato fruit temperature before chilling influence ripening after chilling. **HortScience**, v. 22, p. 452 – 454, 1987.

SAMMI, S.; MASUD, T. Effect of different packaging systems on the quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* var. Rio Grande) fruits during storage. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 44, p. 918 – 926, 2009.

SCHOUTEN, R.E.; HUIJBEN, T.P.M.; TIJSKENS, L.M.M.; VAN KOOTEN, O. Modelling quality attributes of truss tomatoes: linking colour and firmness maturity. **Postharvest Biology and Technology**, v. 45, n. 3, p. 298 – 306, 2007.

SHEWFELT, R.L. Measuring quality and maturity. Em: SHEWFELT, R.L.; PRUSSIA, S.E. (Eds.) **Postharvest handling: a systems approach**. New York, Academic Press, p. 99 – 124, 1993.

SHI, J.; DAI, Y.; KAKUDA, Y.; MITTAL, G.; XUE, S.J. Effect of heating and exposure to light on the stability of lycopene in tomato purée. **Food Control**, v. 19, n. 5, p. 514 – 520, 2008.



SHI, J.; LE MAGUER, M. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 40, n. 1, p. 1 – 42, 2000.

SILVA, J.L.O.; CALBO, A.G. An apparatus to study compression stress in fruits and vegetables. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, p. 737 – 742, 1992.

SOTO-ZAMORA, G.; YAHIA, E.M.; BRECHT, J.K.; GARDEA, A. Effects of postharvest hot air treatments on the quality and antioxidant levels in tomato fruit. **LWT – Food Science and Technology**, v. 38, p. 657 – 663, 2005.

SOZZI, G.O.; CASCONI, O.; FRASCHINA, A.A. Effect of a high temperature stress on endo- $\beta$ -mannanase and  $\alpha$ - and  $\beta$ -galactosidase activities during tomato fruit ripening. **Postharvest Biology and Technology**, v. 9, p. 49 – 53, 1996.

TAVARES, C.A.; RODRIGUEZ-AMAYA, D.B. Carotenoid composition of Brazilian tomatoes and tomato products. **LWT – Food Science and Technology**, v. 27, n. 3, p. 219 – 224, 1994.

TOOR, R.K.; SAVAGE, G.P. Changes in major antioxidant components of tomatoes during post-harvest storage. **Food Chemistry**, v. 99, p. 724 – 727, 2006.

TZORTZAKIS, N.G. Maintaining postharvest quality of fresh produce with volatile compounds. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 8, p. 111 – 116, 2007.

VAN HET HOF, K.H.; DE BOER, B.C.J.; TIJBURG, L.B.M.; LUCIUS, B.R.H.M.; ZIJP, I.; WEST, C.E. Carotenoid Bioavailability in Humans from Tomatoes Processed in Different Ways Determined from the Carotenoid Response in the Triglyceride-Rich Lipoprotein Fraction of Plasma after a Single Consumption and in Plasma after Four Days of Consumption. **Journal of Nutrition**, v. 130, n. 5, p. 1189 – 1196, 2000.

WU, M.; KUBOTA, C. Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. **Scientia Horticulturae**, v. 116, n. 2, p. 122 – 129, 2008.

ZENEBON, O.; PASCUET, N.S.; TIGLEA, P. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008. 1020 p.

ZSCHEILE, F.P.; PORTER, J.W. Analytical methods for carotenes of lycopersicon species and strains. **Analytical Chemistry**, v. 19, n. 1, p. 47 – 51, 1947.

## CONCLUSÕES GERAIS

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

1. O modelo generalizado de Maxwell se ajustou adequadamente aos dados experimentais, apresentando altos valores do coeficiente de determinação ( $R^2 > 0,9259$ ), baixas magnitudes do erro médio relativo e do desvio padrão da estimativa e significância dos coeficientes ( $p\text{-valor} < 0,01$ ), independente da temperatura e tratamento utilizados;
2. O tratamento de compressão alterou a força e a energia para romper a periderme dos frutos durante o armazenamento, sendo assim o teste de punção o único indicado, dentre os utilizados neste trabalho, para o estudo das propriedades mecânicas dos frutos de tomateiro;
3. Valores abaixo de 24 e 14 N de força, respectivamente para os testes de compressão e punção, denotam frutos inaptos ao consumo *in natura*;
4. A perda de massa foi afetada pelo tratamento, sendo que em cada temperatura os frutos tratados obtiveram maiores taxas de perda de massa durante o armazenamento;
5. As alterações promovidas pelo tratamento de compressão podem ser avaliadas pela coloração da periderme dos tomates, em ambas as temperaturas;

6. As análises de pH e teor de sólidos solúveis totais permitem o estudo da compressão aplicada somente para os frutos de tomateiro armazenados a 25 °C, sendo que o contrário foi observado para os frutos armazenados a 15 °C em relação ao teor de licopeno; e,
  
7. A partir do 10º dia de armazenamento, em geral, todos os índices de qualidade dos frutos de tomateiro analisados, em ambos os lotes e temperaturas, apresentaram uma tendência de se manterem inalterados até o término do armazenamento.