

LARA SANTANA FERNANDES

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE TOMATES SUBMETIDOS À ESFORÇOS
DE COMPRESSÃO E VIBRAÇÕES MECÂNICAS**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2016

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F363q
2016

Fernandes, Lara Santana, 1987-

Qualidade pós-colheita de tomates submetidos à esforços de compressão e vibrações mecânicas / Lara Santana Fernandes. – Viçosa, MG, 2016.

xi, 74f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Paulo Cesar Corrêa.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. *Solanum Lycopersicon*. 2. Tomate - Fisiologia pós-colheita. 3. Tomate - Propriedades físicas. 4. Tomate - Propriedades mecânicas. 5. Tomate - Qualidade. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Agrícola. Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola. II. Título.

CDD 22. ed. 635.642

LARA SANTANA FERNANDES

**QUALIDADE PÓS-COLHEITA DE TOMATES SUBMETIDOS À ESFORÇOS
DE COMPRESSÃO E VIBRAÇÕES MECÂNICAS**

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

APROVADA: 05 de outubro de 2016.

Mauri Martins Teixeira

Derly José Henriques da Silva

Fábio Lúcio Santos
(Coorientador)

Ednilton Tavares de Andrade

Paulo Cesar Corrêa
(Orientador)

*Aos meus pais, Haroldo e Dulcineia, pelo incentivo, conselhos e paciência. Ao meu
marido Davi, pelo companheirismo, carinho e amor.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus por permitir que meus sonhos se tornem realidade.

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

Ao meu marido Davi, por estar ao meu lado nos momentos alegres e tristes do dia a dia.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de formação acadêmica.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Paulo Cesar Corrêa pela orientação, oportunidade, amizade, compreensão e ensinamentos que muito contribuíram para a minha formação.

Ao professor Fábio Lúcio Santos pelo auxílio, atenção e sugestões.

Ao professor Paulo Roberto Cecon pelos ensinamentos, pela amizade, paciência e disponibilidade em sempre me atender.

Ao professor Derly José Henriques da Silva pela disponibilidade do laboratório e ao estudante Victor e o técnico Jamilton pelo auxílio nas análises de licopeno.

Ao professor Tetuo Hara pelos conselhos, amizade e incentivos.

À professora Lêda Rita D'Antonino Faroni pela oportunidade, confiança e compreensão.

Aos professores Fábio Lúcio Santos, Mauri Martins Teixeira, Derly José Henriques da Silva e Ednilton Tavares de Andrade pela participação na banca de defesa de tese e pelas sugestões.

A todos do Laboratório de Propriedades Físicas e Qualidade de Produtos Agrícolas pela amizade e ajuda na realização deste trabalho.

Aos amigos do Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem (CENTREINAR) pelos incentivos e apoio.

Aos professores e funcionários do DEA que de alguma forma contribuíram para que essa longa jornada se encerrasse com sucesso.

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

Muito Obrigada!

BIOGRAFIA

LARA SANTANA FERNANDES, filha de Haroldo Carlos Fernandes e Dulcineia Fernandes Santana, nasceu em Belo Horizonte, Minas Gerais, no dia 26 de fevereiro de 1987.

Em maio de 2006, iniciou o curso de Engenharia de Alimentos na Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa-MG, graduando-se em janeiro de 2011. Neste mesmo ano, no mês de março 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 este indispensável para a obtenção do título de *Magister Scientiae*, em fevereiro de 2013.

Em março de 2013 ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Doutorado, em Engenharia Agrícola da UFV, na área de Pré-Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas, submetendo-se à defesa de tese, requisito este indispensável para a obtenção do título de *Doctor Scientiae*, em outubro de 2016.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO GERAL	3
2.1. Objetivos específicos	3
3. REVISÃO DE LITERATURA	4
3.1. O tomate	4
3.2. Perdas pós colheita.....	5
3.3. Transporte	5
3.4. Danos mecânicos	7
3.4.1. Impacto	8
3.4.2. Compressão	9
3.4.3. Vibração	10
3.4.4. Corte	11
3.5. O tomate e suas características	11
3.6. Propriedades físico-químicas e texturais	13
3.6.1. Cor	13
3.6.2. Sólidos solúveis totais	13
3.6.3. Acidez	14
3.6.4. Carotenóides	15
3.6.5. Textura	16

4. MATERIAL E MÉTODOS	18
4.1. Experimento e análise estatística	18
4.2. Matéria prima.....	19
4.3. Aplicação do esforço de compressão	19
4.4. Ensaios de vibrações mecânicas	20
4.5. Análises físico-químicas e texturais	21
4.5.1. Cor	21
4.5.2. pH	22
4.5.3. Acidez total titulável.....	22
4.5.4. Sólidos solúveis totais.....	22
4.5.5. Licopeno.....	22
4.5.6. Perda de água.....	23
4.5.7. Textura.....	24
4.6. Modelagem do processo de relaxação	25
4.7. Análises estatística dos modelos	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
5.1. Evolução da cor da periderme dos tomates	27
5.2. Propriedades químicas e texturais	42
5.3. Adequabilidade do modelo generalizado de Maxwell para descrever a relaxação dos frutos de tomate	52
6. CONCLUSÃO	60
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

RESUMO

FERNANDES, Lara Santana, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2016. **Qualidade pós-colheita de tomates submetidos à esforços de compressão e vibrações mecânicas.** Orientador: Paulo Cesar Corrêa. Coorientadores: Fábio Lúcio Santos e Paulo Roberto Cecon.

O tomate é um fruto muito sensível às lesões geradas após a colheita, sendo as principais causas de perdas: as injúrias mecânicas, doenças, acondicionamento e transporte inadequados. Este último é um dos principais gargalos da comercialização dos frutos, visto que ocorre em rodovias com diversos tipos de pavimentos, em caminhões de variados tamanhos e tipos e em embalagens inadequadas, o que afeta o estágio de amadurecimento e expõem os frutos a danos mecânicos, que podem provocar injúrias como corte e amassamentos. Objetivou-se com esse trabalho simular os esforços de compressão e a exposição a vibrações mecânicas, que ocorrem durante o transporte, e avaliar seu efeito na qualidade e amadurecimento dos frutos do tomateiro, durante o armazenamento. Para a aplicação do esforço de compressão foi utilizada uma massa de 5 kg sobre os frutos colocados dentro de uma caixa de madeira de 20x20x20 cm, resultando em uma pressão de $12,5 \text{ g cm}^{-2}$ simulando o que ocorre aos frutos em uma caixa comercial de madeira do tipo “k”. Já para os ensaios de vibração foram utilizados um vibrador eletromagnético conectado a um amplificador de sinal e a um gerador de sinais. As frequências utilizadas foram de 15, 20 e 25 Hz e as amplitudes de vibração foram de 0,75 e 1,25 mm, durante 1h. 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 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 força de compressão, força de punção e módulo proporcional de deformidade dos tomates. De acordo com os resultados obtidos, concluiu-se que: a exposição às vibrações mecânicas acelerou o amadurecimento e os danos mecânicos dos frutos; independente da frequência de excitação o fator amplitude apresentou maior influência no amadurecimento dos frutos; os frutos dos tratamentos submetidos à amplitude de 1,25 mm diferiram dos frutos testemunha para as variáveis pH e acidez total titulável; as variáveis sólidos solúveis totais, força de punção, força de

compressão e módulo proporcional de deformidade dos tratamentos não diferiram em relação à testemunha; nos frutos testemunha foi observado menores valores de perda de massa durante o armazenamento, sendo considerados comercializáveis até o 9º dia de armazenamento. Já os tomates submetidos à compressão e vibração na amplitude de 1,25mm foram os com maior taxa de perda de massa sendo considerados comercializáveis até o 7º dia de armazenamento; no teor de licopeno foi observado um incremento ao longo do experimento, sendo observado efeito da vibração quando utilizado a frequência de 25Hz nos dois níveis de amplitude; a compressão aplicada foi insuficiente para causar efeito negativo nas propriedades físico-químicas e texturais dos frutos; o modelo generalizado de Maxwell representa bem o processo de relaxação em todas as condições estudadas; nos tomates submetidos à amplitude de 1,25mm observou-se os menores valores de força normalizada nos 3 níveis de frequência, sendo portanto menos elásticos que os frutos dos demais tratamentos.

ABSTRACT

FERNANDES, Lara Santana, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, October of 2016. **Postharvest quality of tomatoes subjected to compressive efforts and mechanical vibrations.** Adviser: Paulo Cesar Corrêa. Coadvisers: Fábio Lúcio Santos and Paulo Roberto Cecon.

The tomato is a fruit very sensitive to lesions generated after harvest, being the main loss causes: the mechanical injuries, diseases and inadequate packaging and transport. Transport is one of the main bottlenecks in fruits marketing, as occur on highways with different pavement types, in trucks of varying sizes and inadequate types of packaging, which affects the ripening stage and exposes the fruit to mechanical damages, which can cause injuries such as cutting and kneading. The aim of this work was to simulate the compressive effort and exposure to mechanical vibrations which occur during transport, and to evaluate its effect on tomato fruit quality and ripening during storage. For the application of compressive force a mass of 5 kg was used, placed inside a 20x20x20 cm wooden box, resulting in a pressure of $12,5 \text{ g cm}^{-2}$, simulating what occurs to the fruit in a commercial “k” type wooden box, while for the vibration test an electromagnetic vibrator was used connected to a signal amplifier and a signal generator. Frequencies used were 15, 20 and 25 Hz, and vibration amplitudes were 0,75 and 1,25 mm during 1 hour. For the textural analysis, compression, relaxation and puncture tests were applied in tomato fruits every two days of storage. PH, total soluble solids and lycopene analysis were also performed at two days intervals. The mass loss and evaluation of tomatoes coloring were performed daily. The generalized Maxwell Model was used to model relaxation process. To evaluate texture, compressive and puncture strengths and the proportional deformity modulus were determined. According to the results, it was concluded that: exposure to mechanical vibrations accelerated the ripening and mechanical damages of the fruits; regardless of excitation frequency, amplitude factor showed higher influence on the fruits ripening; treatments fruits that were submitted to the range of 1.25 mm differed from control fruits for pH and titratable acidity; the variables total soluble solids, puncture strength, compression strength and proportional deformity modulus of treatment fruits did not differ in relation to control fruits; control fruits presented lower weight loss values during storage, being considered marketable until the 9th day of storage. Otherwise, tomatoes subjected to compression and vibration in the range of 1.25 mm presented the higher mass loss rate, being considered marketable until the 7th day of storage; lycopene

content showed an increase during the experiment, and effects of vibration were observed when the frequency of 25 Hz was used, in both amplitude levels; the applied compression was insufficient to cause negative effects on fruits physicochemical and textural properties; the general Maxwell Model well represents the relaxation process in all studied conditions; tomatoes submitted to the range of 1.25 mm showed lower values of standard strength in all three frequency levels and are, therefore, less elastic than fruits from other treatments.

1. INTRODUÇÃO

A tomaticultura representa um dos maiores mercados agrícolas brasileiros, porém, assim como inúmeros produtos de origem vegetal, o cultivo do tomate é uma cultura de alto risco, já que engloba perdas consideráveis desde o plantio até o consumidor final.

O tomate é um fruto climatérico, com curto período de amadurecimento, com características de cor, firmeza, aroma e sabor alteradas ao longo da vida útil do produto.

As principais características que determinam a escolha dos frutos pelos consumidores são a ausência de danos mecânicos, ausência de podridão e coloração característica. As alterações metabólicas e fisiológicas que ocorrem no tomate levam ao aparecimento de sintomas externos e internos típicos, alterações no sabor e aroma, na composição química, teor de carotenóides, vitamina C, acidez titulável, firmeza e no processo de amadurecimento.

O tomate é um fruto muito sensível às lesões geradas após a colheita, resultando em frutos com baixa qualidade visual e nutricional. As principais causas de perdas são as injúrias mecânicas, doenças, acondicionamento e transporte inadequado. Estes danos afetam seu valor comercial, pois além de reduzirem sensivelmente a disponibilidade desses frutos no mercado, diminuem também a aceitabilidade pelos consumidores.

O transporte de tomates é um dos principais causadores da sua depreciação, visto que ocorre em rodovias com diversos tipos de pavimentos, em caminhões de variados tamanhos e tipos sem o controle de temperatura e umidade relativa, o que afeta o estágio de amadurecimento e expõem os frutos a danos mecânicos, que podem provocar injúrias como corte e amassamentos.

Os danos mecânicos podem ser classificados segundo a sua origem por impacto, compressão, vibrações mecânicas e corte. Esses danos tem efeito cumulativo nas etapas da cadeia produtiva, portanto a extensão da injúria depende do número de impactos e da intensidade da compressão e vibração que o fruto está sujeito na colheita e no manuseio pós-colheita.

Muitos experimentos foram conduzidos de forma a representar ou simular as condições de transporte dos frutos, abordando principalmente os danos causados por impacto e compressão. Porém, poucos foram os trabalhos que abordaram a influência da exposição dos frutos às vibrações mecânicas na sua qualidade final.

Os ensaios de vibração permitem simular as ocorrências observadas no transporte de frutas e hortaliças, uma vez que durante o transporte, devido às irregularidades das rodovias, é originada uma movimentação tangencial, isto é, ocorre o contato direto entre frutos próximos na embalagem e entre estes e as paredes das embalagens, provocando abrasão. A abrasão caracteriza-se pelo rompimento da epiderme resultante da fricção do produto com outras superfícies, destruindo as camadas mais externas do tecido.

Dessa forma, trabalhos que simulam apenas a compressão, ou seja, um carregamento uniaxial e estático, sem considerar os efeitos de movimentação dos frutos, não retratam a real condição do transporte.

2. OBJETIVO GERAL

Tendo em vista o grande consumo de tomates no Brasil, a produção, a elevada perda pós-colheita e a escassez de pesquisas que utilizam ensaios dinâmicos para avaliar o efeito do transporte na qualidade de frutos, este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de simular os esforços de compressão e a exposição a vibrações mecânicas, que ocorrem durante o transporte, e avaliar seu efeito na qualidade e amadurecimento dos frutos do tomateiro, durante o armazenamento.

2.1. Objetivos Específicos

- Verificar a influência da exposição dos frutos a vibrações mecânicas nos danos causados pela compressão controlada;
- Avaliar a influência da amplitude e da frequência de vibração, na conservação pós-colheita dos frutos por meio de suas propriedades físico-químicas;
- Avaliar a influência dos esforços de compressão associado à exposição a vibrações mecânicas sobre as propriedades texturais dos frutos do tomateiro durante o armazenamento;
- Relacionar o comportamento das propriedades estudadas com o estágio de amadurecimento dos tomates;
- Modelar o processo de relaxação dos frutos ao longo do armazenamento.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. O tomate

O tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertence à família Solanaceae, como o pimentão, o jiló, a berinjela e a batata. O centro de diversidade do fruto estende-se desde o norte do Chile até a Colômbia. No México, o tomate passou a ser cultivado e “melhorado”, e na Europa, foi introduzido pelos espanhóis entre os anos de 1523 a 1554, sendo utilizado como planta ornamental (ALVARENGA, 2004).

O Brasil é um dos grandes produtores do fruto, sendo o oitavo maior produtor mundial representando cerca de 2,55% do total produzido em 2013. A China atualmente é responsável por 30,8% da produção mundial de tomates, o que situa o país em primeiro lugar, seguida pela Índia, Estados Unidos, Turquia, Egito, Iran e Itália, com respectivamente 11,11; 7,66; 7,20; 5,20; 3,76 e 3,01% (FAO, 2015). No Brasil, os estados de Goiás, São Paulo e Minas Gerais lideram o plantio, com respectivamente 23,9, 19,8 e 15,7 % da produção nacional, que é de aproximadamente quatro milhões de toneladas, em 66.000 ha plantados (IBGE, 2015).

Além da sua expressiva produção, o tomate possui uma grande importância econômica tendo em vista os constantes aumentos na demanda, tanto do produto na forma *in natura* como industrializado. O consumo deste fruto é impulsionado pelas redes “fast food” e a necessidade de maior rapidez no preparo dos alimentos, que elevaram a demanda por alimentos industrializados ou semiprontos, como extrato, polpa, pasta e o tomate seco (NASCIMENTO et al., 2013).

O consumo de produtos de tomate fresco ou processado está associado à diminuição do risco de ocorrência de alguns tipos de câncer e com menor incidência de doenças cardíacas (ELLINGER et al., 2006). Esses efeitos benéficos foram principalmente atribuídos à grande variedade de compostos antioxidantes, incluindo a vitamina E, ácido ascórbico, flavonóides, compostos fenólicos e carotenóides (BORGUINI e TORRES, 2009). Entre eles, o licopeno é o principal constituinte bioativo e tem atraído considerável atenção nos últimos anos por combater os radicais livres, retardar o envelhecimento e proteger contra o câncer, principalmente o de próstata.

3.2. Perdas pós-colheita

O termo “perdas” refere-se ao que ocorre aos frutos pela não utilização do alimento logo após a colheita, podendo ser mensurável em termos quantitativos (perda de peso, perdas por manuseio inadequado); qualitativos (perdas no sabor e aroma, deterioração na textura e aparência), e perdas nutricionais (decorrente de reações metabólicas). O efeito individual ou combinado dessas perdas pode resultar na deterioração do valor comercial do produto (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

No Brasil, estima-se que as perdas pós-colheita em frutas e hortaliças variam de 10% a 50% (AMORIM et al., 2008; FISCHER et al., 2008). Essas perdas ocorrem, principalmente, devido aos danos mecânicos, distúrbios fisiológicos e danos provocados por patógenos.

A cultura do tomate é extremamente susceptível aos agentes causadores de doenças do tomateiro: bactérias, fungos e vírus, bem como diversos tipos de pragas. Isto gera redução na produtividade e na qualidade do produto (EMBRAPA, 2015).

Em decorrência da curta vida útil dos tomates na pós-colheita, utiliza-se em larga escala agrotóxicos e fertilizantes, desconsiderando os efeitos nocivos e residuais ao próprio tomate, que acaba sofrendo um desequilíbrio de seus nutrientes, interferindo na quantidade de licopeno (FERREIRA et al., 2004). Além disso, a utilização desta prática não fornece a garantia de que os tomates estejam livres de pragas, devido à resistência desenvolvida contra os pesticidas.

Outro fator responsável pelo elevado índice de perdas pós-colheita são os danos mecânicos que ocorrem ao longo de toda a cadeia produtiva do tomate. 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.

3.3. Transporte

Quando se trata de frutas, legumes e verduras, o transporte ganha grande importância, uma vez que a maioria dos produtos transportados são altamente perecíveis e susceptíveis a danos (FOSCACHES et al., 2012).

No Brasil, os principais meios utilizados para transportar esses produtos são caminhões e caminhonetes, ou, até são transportados em automóveis comuns. Apesar de o transporte desses produtos ter evoluído ao longo dos anos, ainda existe a predominância de transporte em caminhões em más condições, cobertos com lonas e sem controle de temperatura e umidade relativa a fim de evitar as perdas de água por transpiração (LUENGO, 2005).

Para Cerqueira-Pereira (2009), o uso de veículos impróprios é devido à inexistência de uma legislação para o transporte de produtos perecíveis no Brasil. Muitas vezes os produtos são transportados em veículos que não possuem as mínimas condições necessárias, sem suspensão apropriada e dependendo da sensibilidade do produto, podem gerar perdas de 20% a 25% do total transportado.

Além do uso de veículos inadequados, outro fator determinante para as perdas pós-colheita é o mau estado de conservação das estradas, o que aumenta a trepidação e, conseqüentemente, as injúrias mecânicas (DURIGAN e MATTIUZ, 2007a). A distância percorrida, a velocidade do veículo e as frequências vibracionais existentes nos meios de distribuição também influenciam na ocorrência de danos mecânicos no transporte.

Versavus e Özgüven (2004) verificaram que o aumento na distância percorrida aumenta a incidência de danos mecânicos em maçãs ocasionados pelo transporte. Em trabalho conduzido com tangerinas, Jarimopas et al. (2005) observaram que o percurso de 40 km em estrada não pavimentada apresentou maiores níveis de danos mecânicos, bem como o aumento na velocidade. Velocidades abaixo de 40 km.h⁻¹ ocasionaram menores níveis de vibração e, conseqüentemente, menor incidência de danos.

Da mesma forma, Zhou et al. (2007) transportaram peras ‘Huanghua’ por um percurso de 500 km em estrada pavimentada e não pavimentada. Os diferentes níveis de vibração observados durante o transporte nas duas estradas resultaram em perda de qualidade visual dos frutos e diminuição da firmeza de polpa, destacando o efeito negativo do transporte a longas distâncias sobre a qualidade de peras.

Lacerda (2004) simulou as condições de transporte de figos em laboratório, levando em consideração principalmente a frequência de vibração encontrada num percurso de 90 km, e observou que as bandejas com produtos que trepidaram durante os ensaios tiveram sérios danos de abrasão e após 24 horas todas as regiões onde sofreram impactos, estavam com coloração escura, umedecida e aparência ruim.

A quantificação e caracterização desses danos são importantes, pois atuam como diagnóstico da cadeia de comercialização e permitem identificar os pontos críticos, tais

como falta de cuidado no manuseio e a utilização de transporte e embalagens inadequadas (LEITE et al., 2010).

3.4. Danos mecânicos

De acordo com Mohsenin (1986), os danos mecânicos podem ser definidos como deformações plásticas, rupturas superficiais e destruição dos tecidos vegetais provocadas por forças externas. Os danos mecânicos causados aos produtos vegetais têm origem em fenômenos tais como, impacto, vibração, compressão e corte. Fatores como espécie, cultivar, grau de hidratação celular, estágio de maturação, tamanho e massa fresca dos frutos, bem como características da epiderme e condições ambientais influenciam na sensibilidade ao dano mecânico.

Os danos mecânicos, durante o manejo na colheita e pós-colheita, são responsáveis por perdas significativas durante a distribuição e a comercialização dos vegetais. Essas injúrias afetam diretamente o fruto, causando danos irreparáveis, que desvalorizam comercialmente o produto e reduzem sua vida útil. Frutos murchos, amassados, sem a cor característica e com aparência desagradável sobram nas prateleiras dos supermercados (KASAT et al., 2007).

As injúrias mecânicas muitas vezes comprometem as barreiras que evitam a perda de água, pois podem danificar as camadas superficiais dos frutos, como as ceras e cutículas, reduzindo a sua capacidade de resistir à perda de água. A comercialização de muitas frutas ocorre por unidade de peso, sendo que a perda de água é uma das principais causas da perda de qualidade pós-colheita e resulta na redução imediata da massa do fruto (GODOY et al., 2010).

Sousa et al. (2013) avaliaram a qualidade pós-colheita da manga ‘Tommy Atkins’ submetida a impacto, corte e vibração. Foi constada perda de massa fresca durante o armazenamento independente do tipo de injúria mecânica, sendo que nos frutos com danificações ocorreu maior perda de massa fresca quando comparados aos frutos sem injúrias.

Comportamento semelhante foi observado por Godoy et al. (2010), para mamões ‘Golden’ que sofreram danos mecânicos por impacto, corte e vibração, sendo que dentre as injúrias, o impacto e a vibração proporcionaram a maior perda de massa fresca com 19 e 16%, respectivamente, comparados aos frutos controle.

Já Durigan e Mattiuz (2007b) em trabalho com melancias constataram que a injúria por impacto causou maior perda de massa nos frutos chegando a 7,5% ao final dos 15 dias de avaliação. Segundo Chitarra e Chitarra (2005) perdas de até 3 % são aceitáveis, valores acima desse limiar deixam o produto com aspecto murcho ou ressecado, interferindo na qualidade visual e, conseqüentemente, na sua rejeição pelo consumidor.

3.4.1. Impacto

O dano por impacto é geralmente causado pela colisão do fruto contra superfícies rígidas ou entre frutos. A colisão pode causar danos externos, que são facilmente visualizados na superfície, com ruptura ou não da epiderme, formação de lesões aquosas translúcidas e amolecimento (SANCHES et al., 2008). Aliado a isso, podem ocorrer rupturas microscópicas na epiderme, tornando o fruto propenso à contaminação por patógenos.

O nível do dano está diretamente relacionado à intensidade do impacto e ao tipo de superfície. Quando um fruto impacta sobre uma determinada superfície, produz uma energia que é resultante da velocidade na qual entrou em contato com essa. A velocidade é consequência da massa do fruto, da altura de queda e do material da superfície de impacto. Quanto mais rígida for a superfície (metal, madeira ou plásticos duros), maior será a energia que incidirá sobre o fruto e, conseqüentemente, os danos provocados serão maiores. Após o impacto, a energia da região afetada passa para o interior do fruto até que se dissipe, seja por ruptura celular ou pela distensão das membranas dos frutos (SEGATORI et al., 2006).

Caso a queda ocorra em superfícies macias ocorre a diminuição da velocidade em um tempo mais prolongado, o que reduz a força do impacto. Esses materiais também absorvem parte da energia, criando maior superfície de contato e diminuindo o nível de impacto que pode causar dano ao fruto (SEGATORI et al., 2006).

Ferreira et al. (2009) avaliaram as alterações na qualidade de tomates de mesa submetidos a danos mecânicos por impacto em diferentes superfícies. Os índices de qualidade foram alterados, verificando-se maior perda de massa, maiores valores de acidez total, menores valores de ácido ascórbico e sólidos solúveis para maiores alturas de queda livre sobre superfícies rígidas.

3.4.2. Compressão

Compressão refere-se às deformações plásticas causadas por forças compressivas maiores que as toleradas pelo órgão vegetal, provocando amassamento e, às vezes, aparência translúcida ao órgão (LUENGO, 2005).

Os danos mecânicos por compressão podem ser causados pela aplicação de pressão variável contra a superfície externa do fruto, quer seja por um fruto adjacente, ou pela própria embalagem em que se acondiciona o produto, durante o transporte e/ou comercialização inadequada dos frutos (SANCHES et al., 2008). Os danos por compressão podem resultar no desencadeamento de respostas fisiológicas que promovem a ruptura das células, causando a oxidação responsável pela depreciação do produto.

Durigan e Mattiuz (2007b), avaliaram os efeitos de diferentes injúrias mecânicas sobre a qualidade de melancias ‘TopGun®’. Na injúria por compressão, foi observado um avanço no processo de senescência dos frutos, principalmente nos locais injuriados. Estes estavam internamente escurecidos e mais adocicados. Também foram notadas pequenas rachaduras na polpa, as quais ficaram mais evidentes ao final do armazenamento.

Dentre os fatores que influenciam na compressão dos frutos estão o estágio de amadurecimento e o tamanho. Quanto maiores e mais maduros os frutos, maior o efeito da compressão, porque frutos mais maduros têm elasticidade maior, e frutos maiores têm maior área que pode ser comprimida em relação aos de tamanho menor (LUENGO, 2005).

Realizar testes de compressão é importante, pois seus resultados demonstram uma relação satisfatória com as condições reais de transporte e são amplamente utilizados para estimar a firmeza dos frutos por meio de um perfil de força-deformação (LIEN et al., 2009).

Oliveira et al. (2015) avaliaram as alterações de textura de tomates quando estes foram submetidos a um esforço de compressão controlado a fim de simular o transporte dos frutos em caixas de madeira do tipo “K”. Os autores observaram que o tratamento não foi suficiente para que ocorresse perda significativa de firmeza dos tomates e concluíram que como foi utilizado apenas 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 e sugeriram

o estudo do efeito da compressão associado à vibração e assim averiguar a influência da movimentação tangencial nas alterações texturais dos frutos de tomateiro.

3.4.3. Vibração

Vibrações mecânicas podem ser definidas como o movimento de um corpo (oscilações) em torno de sua posição de equilíbrio (IIDA, 2005). Na prática, as vibrações consistem de uma associação entre os fatores frequência e amplitude. A intensidade da danificação provocada depende do nível da frequência, da amplitude, do tempo de exposição e das condições iniciais.

As vibrações que ocorrem nos veículos de transporte de frutas são indesejáveis em virtude do aumento de tensão e ruptura da membrana dos produtos. Segundo Almeida (2005), a interação entre estrada e o veículo pode resultar em vibrações com frequência de 2 a 20 Hz.

O efeito das frequências de vibração no transporte de figos foi estudado por Lacerda (2004). As frequências de 2 Hz e 13 Hz predominaram durante o percurso, sendo que a frequência de 13 Hz, ocasionou danos mecânicos aos frutos, que apresentaram manchas escuras e umedecidas nas regiões de contato entre os frutos.

Geralmente, as vibrações mecânicas provocam movimento de rotação da fruta dentro da embalagem, provocando abrasão. A abrasão caracteriza-se pelo rompimento da epiderme resultante da fricção do produto com outras superfícies, destruindo as camadas mais externas do tecido (WILLS et al., 1998).

Segundo Vigneault e Cortez (2002), todos os sistemas mecânicos possuem um parâmetro conhecido como frequência natural ou de ressonância, o que pode acarretar o aumento da amplitude de vibração do sistema quando este for excitado em uma de suas frequências naturais. Dessa forma, uma pilha de caixas com um determinado produto é um sistema mecânico que possui uma frequência de ressonância característica. Se durante o transporte for aplicada uma frequência de vibração igual a sua frequência natural, ocorrerá o movimento intenso das caixas e dos frutos no seu interior, podendo originar esforços intensos de abrasão entre os frutos e com as paredes da embalagem. Esses danos estão relacionados com o tamanho e o nível de enchimento da embalagem de transporte.

Versavus e Özgüven (2004), em estudo com maçãs cv. Golden Delicious verificaram que os frutos localizados na camada superior da embalagem receberam os

maiores níveis de vibração. Segundo os autores, a combinação de amplitude e frequência de vibração produzida na camada superior é suficiente para que as maçãs se movimentassem livremente nessa posição, causando lesões na epiderme após colidirem umas com as outras. Essa movimentação intensa dos frutos resultou na descoloração da superfície e lesões na parede celular.

Resultados contrários foram obtidos por Acican e Alibas (2007) ao avaliarem a incidência de danos mecânicos em maçãs ‘Granny Smith’ e ‘Starkpur Golden Delicious’ de acordo com sua posição na caixa. Esses autores simularam a vibração de transporte e verificaram que a camada inferior, em contato com a embalagem, apresentou os maiores níveis de vibração e maior percentagem de danos mecânicos.

3.4.4. Corte

A injúria por corte é, geralmente, atribuída a uma força de colisão de um fruto em uma superfície irregular, ou pela imposição de uma pressão sobre o fruto, contra uma superfície desigual, como arestas de uma embalagem ou objetos cortantes utilizados no processamento dos frutos (MOHSENIN, 1986).

Em trabalho realizado por Godoy et al. (2010), foi constatado que o corte representa aproximadamente 20 % dos danos mecânicos mais encontrados no mamão. A quantificação desse dano tem como principal função facilitar a tomada de decisão por parte do produtor, atacadista e varejista quanto à necessidade de investimentos em medidas de prevenção, consequentemente, medidas lucrativas, pois as perdas pós-colheita serão menores (TEZZOTO et al., 2011).

3.5. O tomate e suas características

O tomate (*Solanum lycopersicon* L.) é um fruto macio, sendo caracterizado por uma polpa suave, pele fina e muitas sementes (AJAVI e OLASEHINDE, 2009).

As características sensoriais e nutricionais do tomate dependem de vários componentes físico-químicos dos frutos. Os teores destes componentes conferirão aos frutos certos atributos, que responderão pela sua maior ou menor aceitação, seja pelo consumidor, seja pela indústria. Segundo Liu et al. (2009), 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.

O tomate possui em sua composição aproximadamente de 93% a 95% de água, conforme demonstrado na Tabela 1. Nos 5% a 7% restantes encontram-se compostos inorgânicos, ácidos orgânicos, açúcares, sólidos insolúveis em álcool e outros compostos (GIORDANO e RIBEIRO, 2000) (Tabela 2).

Tabela 1- Composição nutricional do tomate, em 100g.

Nutriente	
Água (%)	93 - 95
Calorias (kcal)	22,0
Proteína (g)	1,10
Carboidrato (g)	4,70
Fibra (g)	0,5
Ácido ascórbico (mg)	23,0

Fonte: Gould, 1992.

Tabela 2- Composição dos frutos maduros de tomate (% na matéria seca).

Composição	
Açúcares	
Glicose	22,00
Frutose	25,00
Sacarose	1,00
Sólidos insolúveis em álcool	
Proteínas	8,00
Substâncias pécicas	7,00
Hemicelulose	4,00
Celulose	6,00
Ácidos Orgânicos	
Ácido cítrico	9,00
Ácido málico	4,00
Minerais	
Principalmente: K, Ca, Mg e P	8,00
Outros	
Lipídios	2,00
Pigmentos	0,4
Ácido ascórbico	0,5
Voláteis	0,1
Aminoácidos, vitaminas e polifenóis	1,00

Fonte: Gould, 1992.

3.6. Propriedades físico-químicas e texturais

A qualidade dos produtos agrícolas pode ser avaliada sob diferentes aspectos, podendo diferir entre regiões devido aos costumes 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 sensoriais exigidas pelo mercado.

Por ser um fruto climatérico, no período pós-colheita, o amadurecimento do tomate resulta em uma série de transformações físico-químicas, caracterizadas por alterações fisiológicas e bioquímicas no fruto, como: mudança de cor, aparência, firmeza, perda de peso, aumento de sólidos solúveis totais, pH e acidez titulável.

Tais indicadores servem como parâmetros de qualidade do fruto e estão referidos nos sub ítems a seguir:

3.6.1. Cor

A coloração de frutos, juntamente com a sua textura, 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), elaborado em 1931 e aperfeiçoado em 1976, que utiliza as coordenadas L^* , a^* e b^* , é o mais difundido no meio científico, sendo mensurado por meio de um colorímetro.

A cor do fruto é caracterizada pelo conteúdo de pigmentos carotenóides, sendo que os principais componentes dos carotenóides em tomates são o β -caroteno (cor laranja) e o licopeno (cor vermelha), este último sendo o principal responsável pela coloração de tomates (CHOI et al., 2008).

3.6.2. Sólidos Solúveis Totais

Os sólidos solúveis totais (SST) medidos por refratometria são usados como índices de açúcares totais em frutas e indicam o grau de amadurecimento. São

constituídos por compostos solúveis em água que representam os açúcares, ácidos, vitamina C e algumas pectinas (MOURA et al., 2005).

A presença de concentrações adequadas de açúcares solúveis e ácidos orgânicos determina o desenvolvimento do sabor do fruto e afeta diretamente a sua qualidade (MOURA et al., 2005).

O teor de sólidos solúveis no fruto, além de ser uma característica genética do cultivar, é influenciado principalmente pela temperatura e umidade relativa do ambiente, 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. Os valores médios de °Brix nos tomates recebidos pelas indústrias no Brasil têm sido em torno de 4,5 °Brix (RAUPP et al., 2009).

3.6.3. Acidez

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).

Em relação ao pH, é desejável que seja inferior a 4,5 para impedir a proliferação de microorganismos, pois valores superiores a 4,5 requerem períodos mais longos de esterilização da matéria prima em um processamento térmico, ocasionando maior consumo de energia e maior custo de processamento (MONTEIRO et al., 2008).

Segundo Ferreira et al (2004), o pH decresce significativamente com os primeiros sinais de maturação nos frutos e aumenta levemente com o estágio sobremaduro. Isso pode ser explicado em consequência da perda de acidez dos frutos que já atingiram a maturação e que adquirem a capacidade de sintetizar ácidos orgânicos.

De acordo com Chitarra e Chitarra (2005) e Borguini e Silva (2005), os ácidos orgânicos encontram-se dissolvidos nos vacúolos das células, tanto na forma livre, como combinada com sais, ésteres e glicosídeos. Em frutas, os ácidos orgânicos não só contribuem para a acidez como também para o aroma característico.

3.6.4. Carotenóides

Os carotenóides representam um amplo grupo de pigmentos naturais com cores que variam do amarelo ao vermelho.

Dentre as ações benéficas dos carotenóides, destaca-se sua ação antioxidante que está relacionada com a diminuição do risco de doenças degenerativas como alguns tipos de câncer, doenças cardiovasculares, degeneração macular, formação de catarata e queda de proteção das mucosas gástricas (SU et al., 2002).

O estudo da ação dos antioxidantes, bem como da sua relação com radicais livres e a prevenção de algumas doenças, tornou-se um tema de grande interesse. Os radicais livres são produzidos durante os processos metabólicos que atuam como mediadores da transferência de elétrons em várias reações bioquímicas nas células e tecidos humanos. A produção excessiva de radicais livres pode conduzir a diversas formas de dano celular e a sua cronicidade está associada com o desenvolvimento de numerosas doenças (SPEISKY e JIMÉNEZ, 2000).

As lesões celulares causadas pelos radicais livres podem ser prevenidas ou minimizadas por meio da atividade de antioxidantes, sendo estes encontrados, principalmente, em alimentos de origem vegetal (PAPAS, 1999).

Os carotenóides mais comumente encontrados nos alimentos são o β -caroteno e o α -caroteno presentes, por exemplo, em cenouras e em abóboras; o licopeno presente em tomates, goiabas e melancias; e várias xantofilas presentes no milho, na manga e no mamão (ARAB e STECK, 2000).

Atualmente, os consumidores buscam produtos com maior qualidade nutricional. Sendo assim, o conteúdo dos carotenóides se torna particularmente importante, não por apenas definir a coloração do produto, mas também pelos seus benefícios à saúde humana (LIU et al., 2009). Boileau et al. (2003) constataram 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.

O licopeno, como os demais carotenóides, encontra-se em maiores quantidades na mesoderme dos alimentos, aumentando consideravelmente durante o seu amadurecimento. Sua concentração é maior nos alimentos produzidos em regiões de climas quentes (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

3.6.5. Textura

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, sendo que suas propriedades se alteram durante o processo de amadurecimento (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

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., 2010b). 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. Com o decorrer do amadurecimento, estas substâncias vão sendo solubilizadas, transformando a pectina insolúvel (protopectina) em pectina solúvel, resultando no amaciamento da polpa. 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.

Fatores que afetam a textura podem mudar substancialmente após a colheita, em função de mudanças na adesão intercelular, conversão de amido em açúcares, perda da água e força da parede celular (TOIVONEN e BRUMMELL, 2008).

A relação da textura dos frutos com o estágio de maturação pode ser obtida por meio de testes físicos que envolvem a ruptura do produto analisado. Punção, penetração, compressão, cisalhamento e relaxação são os principais testes para a avaliação da textura em alimentos, possibilitando a aquisição de dados relativos à consistência e resistência dos tecidos vegetais mediante a aplicação de forças e a

deformação específica ou do tempo total de teste (BOURNE, 2002).

A firmeza dos frutos tem sido frequentemente utilizada como indicador de qualidade, bem como na caracterização das propriedades mecânicas, químicas e reológicas do fruto. 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 deformação-força (LIEN et al., 2009).

O teste de relaxação é usualmente utilizado para o estudo do comportamento viscoelástico de materiais biológicos (CESPI et al., 2007; BELLIDO e HATCHER, 2009), sendo que a modelagem é um instrumento matemático fundamental para análise deste comportamento (DEL NOBILE et al., 2007; FUSTIER et al., 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.

4. 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). A análise de licopeno foi realizada no Laboratório de Manejo de Recursos Genéticos do Departamento de Fitotecnia e os ensaios de vibração no Laboratório de Projeto de Máquinas Agrícolas do Departamento de Engenharia Agrícola, ambos pertencentes à Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais.

4.1. Experimento e análise estatística

O experimento foi conduzido em esquema de parcela subdividida, tendo nas parcelas oito tratamentos e nas subparcelas o tempo de armazenamento (0, 3, 6, 9, 12 e 15 dias), no delineamento inteiramente casualizado com três repetições.

Os tratamentos foram:

- 1- Testemunha: sem compressão e sem vibração;
- 2- Compressão durante 1h;
- 3- Compressão (C) + Vibração (V) (0,75mm e 15Hz): Compressão associada a vibração com amplitude de 0,75mm e frequência de 15Hz durante 1h;
- 4- C + V (0,75mm e 20Hz): Compressão associada a vibração com amplitude de 0,75mm e frequência de 20Hz durante 1h;
- 5- C + V (0,75mm e 25Hz): Compressão associada a vibração com amplitude de 0,75mm e frequência de 25Hz durante 1h;
- 6- C + V (1,25mm e 15Hz): Compressão associada a vibração com amplitude de 1,25mm e frequência de 15Hz durante 1h;
- 7- C + V (1,25mm e 20Hz): Compressão associada a vibração com amplitude de 1,25mm e frequência de 20Hz durante 1h;
- 8- C + V (1,25mm e 25Hz): Compressão associada a vibração com amplitude de 1,25mm e frequência de 25Hz durante 1h;

Os dados experimentais foram interpretados por meio de análise de variância e regressão. Para comparação das médias do fator qualitativo foi utilizado o teste de Tukey, adotando o nível de 5% de probabilidade. Para comparar a média da testemunha com as demais foi utilizado o teste de Dunnett, adotando-se o nível de 5% de

probabilidade. Para o fator quantitativo, os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão utilizando-se o teste “t”, no coeficiente de determinação $\left(R^2 = \frac{SQ_{Reg}}{SQ_{tratamento}} \right)$ e no comportamento biológico.

4.2. Matéria prima

Foram utilizados frutos de tomateiro da variedade Pizzadoro, colhidos manualmente no estágio de maturação verde-maduro, em uma propriedade localizada na cidade de Coimbra - MG. Os tomates foram selecionados, descartando os frutos com qualquer sintoma visível de deformações e doenças, com a finalidade de se obter uma matéria-prima homogênea e de alta qualidade. Ao final dos ensaios de compressão e vibração os tomates foram armazenados em câmaras tipo BOD a 25 °C, umidade relativa de $85 \pm 5 \%$, por 15 dias.

4.3. Aplicação do esforço de compressão

Para esta avaliação foi utilizada a metodologia desenvolvida por Oliveira (2010a).

Para a força controlada de compressão foi utilizado como fonte de esforço uma massa padrão, sendo que o mesmo foi depositado sobre uma caixa contendo aproximadamente 15 tomates distribuídos de forma aleatória. Para definir a massa padrão, empregou-se a massa de frutos por unidade de área da caixa ($12,5 \text{ g cm}^{-2}$), comumente observada no transporte de frutos.

A caixa de madeira utilizada (Figura 1) é um protótipo de 20x20x20 cm. Foi utilizado o tempo de compressão de 1 h e uma massa de 5 kg.

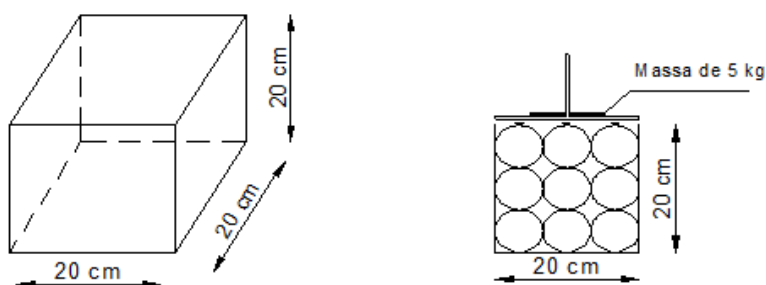


Figura 1. Protótipo da caixa utilizada.

4.4. Ensaios de vibrações mecânicas

Para avaliar a influência de esforços dinâmicos os tomates foram submetidos às vibrações mecânicas por meio de um vibrador eletromagnético, modelo V-406, fabricado pela LDS (Ling Dynamic Systems) conectado a um amplificador de sinal PA-100E e a um gerador de sinais COMET_{usb}, marca Dactron (Figura 2). Toda instrumentação foi configurada e controlada por computador a partir de um software específico do sistema.

Para os ensaios foi necessária a construção de uma estrutura de sustentação da caixa contendo os tomates. A estrutura foi composta por uma bandeja retangular, contendo marcações fixas para evitar o deslocamento da caixa. Esta bandeja foi montada diretamente sobre a base móvel do vibrador eletromagnético, sendo orientada e suportada por elementos elásticos em seus vértices. Junto ao ponto de fixação da bandeja à base móvel do vibrador eletromagnético foi fixado um transdutor piezoelétrico de aceleração (acelerômetro), com sensibilidade de $101,3 \text{ mVg}^{-1}$, que foi responsável pelo controle do sistema, gerando vibração uniaxial vertical, durante a execução dos ensaios

As frequências utilizadas foram de 15, 20 e 25 Hz e as amplitudes de vibração foram $A_1 = 0,75 \text{ mm}$ e $A_2 = 1,25 \text{ mm}$ com deslocamento pico-a-pico da base móvel de 1,5 mm e 2,5 mm, respectivamente, segundo uma forma de onda senoidal.

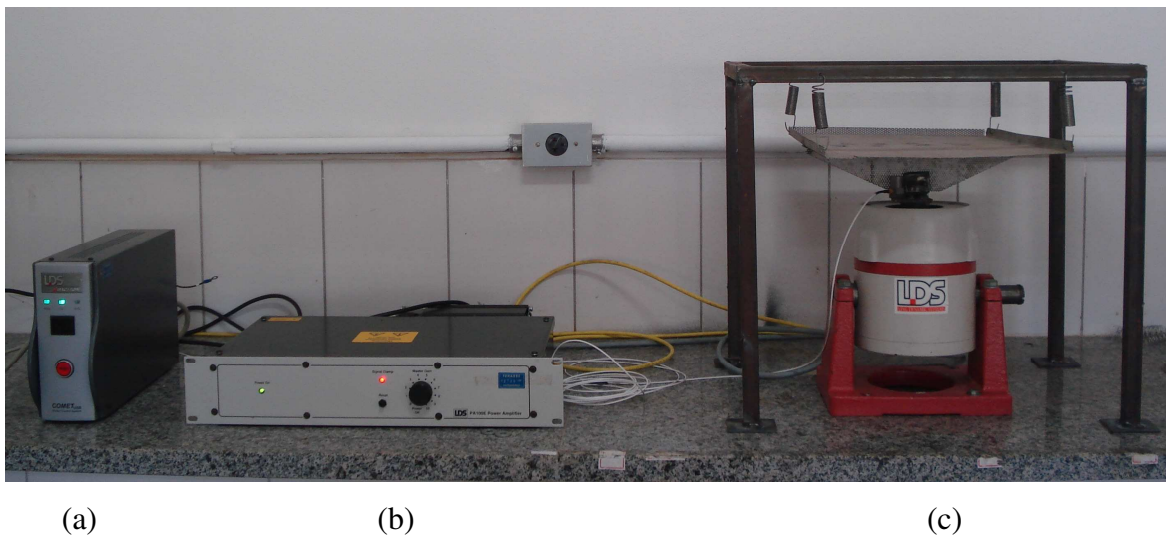


Figura 2. Equipamentos utilizados para vibração das caixas contendo os frutos: (a) gerador de sinal, (b) amplificador, (c) vibrador eletromagnético e estrutura de sustentação.

4.5. Análises físico-químicas e texturais

4.5.1. Cor

Para a determinação objetiva da cor foi utilizado o sistema CIE 1976, que exhibe um sólido de cores definido por três coordenadas (Figura 3). O eixo principal é o nível de luminosidade L^* em uma escala de 0 (totalmente preto) a 100 (totalmente branco). Os valores intermediários compreendem uma escala de cinza.

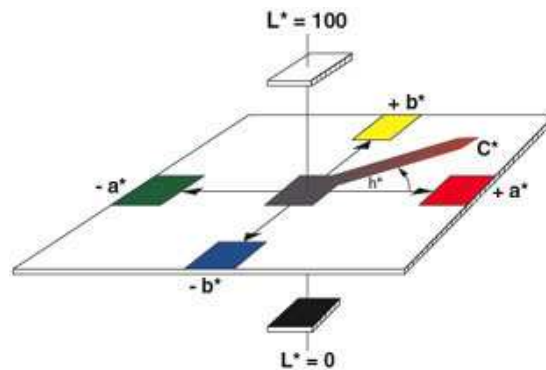


Figura 3. Sólido de cores do sistema CIE $L^* a^* b^*$ e descrição do ângulo hue (h^*) e do índice de saturação cromática (C^*).

A caracterização da cor dos frutos de tomate foi feita pelo uso de um colorímetro tristímulo, com leitura direta de reflectância das coordenadas L^* (luminosidade), a^* (tonalidades vermelha/verde) e b^* (tonalidades amarela/azul), empregando a escala Hunter-Lab e utilizando o iluminante $10^\circ/D65$, em três pontos equidistantes da região equatorial do fruto.

A partir dos valores de L^* , a^* e b^* , foram calculados os seguintes índices colorimétricos: o croma (C^*), que define a intensidade e a pureza de uma cor (Equação 1); e o ângulo hue (h^*), que define a tonalidade da cor (Equações 2 e 3): 0° (vermelho), 90° (amarelo), 180° (verde) e 270° (azul). O ΔE , que é a diferença total de cor levando-se em consideração as condições iniciais de armazenamento do produto foi calculado pela Equação 4.

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

$$h^* = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} \rightarrow \text{para } a^* \text{ positivo} \quad (2)$$

$$h^* = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*} (-1) + 90 \rightarrow \text{para } a^* \text{ negativo} \quad (3)$$

$$\Delta E = (\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2})^{1/2} \quad (4)$$

4.5.2. pH

O pH foi determinado por potenciometria, utilizando-se um pHmetro digital (Modelo PHS-3B, Phtek, São Paulo, Brasil), conforme AOAC (1997).

4.5.3. Acidez total titulável

A acidez total titulável foi determinada em percentagem de ácido cítrico, pela titulação de alíquota de 10 g de amostra em 90 mL de água destilada com solução 0,1 N de NaOH, em presença de fenolftaleína (AOAC, 2002).

4.5.4. Teor de sólidos solúveis totais

O teor de sólidos solúveis totais foi determinado com o auxílio de um refratômetro portátil, marca *Nova*, modelo 113, e os resultados foram expressos em °Brix, conforme AOAC (1997).

4.5.5. Licopeno

A concentração de licopeno nos frutos foi obtida por análise espectrofotométrica. Após o descongelamento da polpa, foram tomadas amostras de 5,0 g. Em almofariz de porcelana macerou-se a amostra com 15 ml de acetona por cinco minutos e filtrou-se em funil de Buchner a vácuo. Repetiu-se essa operação até que todo o resíduo se tornasse incolor. No funil de separação foram adicionados 25 ml de éter de petróleo. Os pigmentos foram então transferidos, em pequenas frações, seguidas de água destilada, para o funil de separação, descartando-se a fase inferior. As amostras foram

lavadas por mais quatro vezes para remoção total da acetona. A solução dos pigmentos em éter de petróleo foi transferida para um balão volumétrico completando-se o volume para 25 ml com éter de petróleo. A leitura no espectrofotômetro (BEL PHOTONICS, SP1105) foi feita no comprimento de onda de 470 nm (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001). Para fazer a leitura no espectrofotômetro a absorvância foi ajustada no intervalo de 0,2 a 0,8. Para as amostras que a concentração de licopeno contido no balão de 25 mL ultrapassou o limite superior houve a necessidade de diluição, pipetando-se aproximadamente 0,5 mL para um balão menor de 5 mL e completando o volume com éter de petróleo e assim feito a leitura. O teor de licopeno foi obtido pela Equação 5.

$$\mu\text{g/g} = \frac{A \cdot V \cdot 10000 \cdot D}{m \cdot E_{1\text{cm}}^{1\%}} \quad (5)$$

em que

A = absorvância da solução no comprimento de onda de 470 nm; $\mu\text{g g}^{-1}$;

V = volume final da amostra;

D = diluição da amostra;

m = massa da amostra, em g;

$E_{1\text{cm}}^{1\%}$ = coeficiente de absortividade molar específico, que para licopeno em éter de petróleo utiliza-se o valor de 3450 (RODRIGUEZ-AMAYA, 2001).

4.5.6. Perda de água

A porcentagem de perda de água dos frutos de tomate foi determinada por meio da diferença de massa no tempo analisado em relação ao tempo zero (Equação 6). As pesagens foram realizadas diariamente.

$$P = \frac{M_{(t=0)} - M_{(t=t)}}{M_{(t=0)}} \times 100 \quad (6)$$

em que

P = perda de água, %;

$M_{(t=0)}$ = massa de tomate no tempo zero, g;

$M_{(t=t)}$ = massa de tomate no tempo t, g.

4.5.7. 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 (Figura 4), dotado do *software Texture Expert for Windows*[®] com uma célula de carga de 500 N.



Figura 4. Aparelho Universal de Testes modelo *TA.HD Texture Analyser, Stable Micro Systems*.

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 $0,02 \text{ m min}^{-1}$ e força máxima de 3 N (VAN DIJK et al., 2006). 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 deformação, que permite que comparações de resistência relativas entre diferentes materiais sejam feitas, foi calculado utilizando-se a expressão da ASAE (1994), conforme a Equação 7.

$$E_p = \frac{E}{1 - \mu^2} = \frac{0,531F}{D^{3/2}} \left[2 \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{R} \right)^{1/3} \right]^{3/2} \quad (7)$$

em que

E_p = módulo proporcional de deformação, Pa;

E = módulo de deformidade, Pa;

F = força, N;

μ = razão de Poisson;

r = raio de curvatura no ponto de contato, m;

R = raio equivalente do produto, m;

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

Os raios de curvatura dos frutos foram obtidos por meio da medição direta dos eixos ortogonais com auxílio de um paquímetro digital com resolução de 0,01 mm.

Para o teste de relaxação, o mesmo probe utilizado no teste de compressão foi empregado com uma força constante de teste de 4 N e velocidade de 0,02 m min⁻¹ (ERRINGTON et al., 1997), durante 20 s. Os testes de relaxação forneceram os tempos de relaxação, bem como a força máxima exercida pelo fruto após os 20 s de teste.

Para o teste de punção, um probe cilíndrico de 4 mm de diâmetro a uma velocidade de 0,1 m min⁻¹ foi utilizado (DESMET et al., 2004) com uma força máxima de 3 N (VAN DIJK et al., 2006). Os testes de punção forneceram as forças de rompimento da casca dos tomates e a deformação requerida para este rompimento.

4.6. Modelagem do processo de relaxação

Para a modelagem das curvas de relaxação dos tomates, foi empregado o modelo generalizado de Maxwell, descrito pela Equação 8:

$$\sigma(t) = \sigma_e + A_1 \exp\left(\frac{-t}{\tau_1}\right) + A_2 \exp\left(\frac{-t}{\tau_2}\right) + A_3 \exp\left(\frac{-t}{\tau_3}\right) \quad (8)$$

em que

$\sigma(t)$ = força normalizada no tempo t , adimensional;

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

A_1, A_2, A_3 = constantes do modelo, adimensionais;

t = tempo, s; e

τ_1, τ_2, τ_3 = tempo de relaxação, s.

4.7. Análise estatística dos modelos

Para verificar o grau de ajuste dos modelos para descrever a relaxação dos tomates, foram consideradas as magnitudes do coeficiente de determinação (R^2), do erro médio relativo (P) (Equação 9), da estimativa do desvio padrão (SE) (Equação 10) e da distribuição dos resíduos.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \hat{Y}_i|}{Y_i} \quad (9)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{GLR}} \quad (10)$$

em que

Y_i = valor observado experimentalmente;

$\hat{Y}_i$ = valor estimado pelo modelo;

n = número de dados observados; e

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

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Evolução da cor da periderme dos tomates

Os resultados das análises de variância apresentados no Quadro 1 indicam que houve efeito significativo dos tratamentos, tempo de armazenamento e interação entre os tratamentos e o tempo de armazenamento para todas as características estudadas.

Quadro 1- Resumo da Análise de variância das coordenadas L* e a* e dos índices colorimétricos croma (Cr), ângulo hue e diferença total de cor (ΔE), para os respectivos tratamentos (TR) e tempo (TE)

Quadrados médios						
F.V	GL	L*	a*	Cr	hue	ΔE
TR	7	28,1251**	155,5548**	38,2379**	207,0830**	143,6460**
Resíduo (a)	16	2,1733	4,1835	2,8114	6,4627	7,2970
TE	5	605,0953**	4425,1090**	589,4946**	6104,1380**	4692,252**
TR x TE	35	2,7342**	9,3004**	3,6948**	13,5147**	8,8488**
Resíduo (b)	80	1,6600	2,8193	2,4244	4,9092	3,5581
CV (%) Parcela		2,96	8,13	3,58	4,47	7,90
CV (%) Subparcela		2,58	6,67	3,33	3,89	5,52

**F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

No Quadro 2 estão os resultados médios obtidos para as coordenadas L*, a* e b* fornecidas pelo colorímetro.

Quadro 2 - Valores das coordenadas L*, a* e b* dos tomates submetidos aos tratamentos: T1: testemunha, T2: compressão, T3: compressão associada a vibração na amplitude de 0,75mm e 15Hz, T4: compressão associada a vibração na amplitude de 0,75mm e 20Hz, T5: compressão associada a vibração na amplitude de 0,75mm e 25Hz, T6: compressão associada a vibração na amplitude de 1,25mm e 15Hz, T7: compressão associada a vibração na amplitude de 1,25mm e 20Hz e T8: compressão associada a vibração na amplitude de 1,25mm e 25Hz, ao longo do tempo de armazenamento

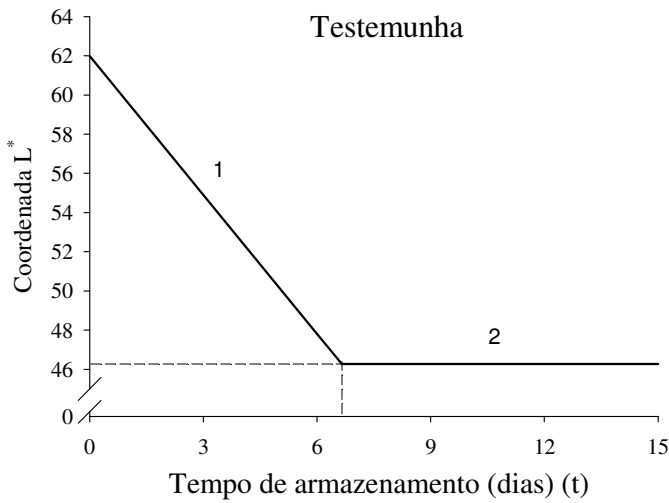
Coordenada L*								
Tempo (dias)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	60,32	60,32	60,32	60,32	60,32	60,32	60,32	60,32
1	60,62	60,52	58,02	58,33	58,16	57,11	58,23	56,02
2	57,74	56,99	57,47	56,01	55,59	53,99	53,90	53,67
3	57,02	55,21	52,69	51,60	51,26	50,75	50,62	50,50
4	51,95	52,58	49,68	48,97	49,78	50,97	50,43	48,63
5	48,50	50,46	49,56	48,46	48,06	49,27	48,92	47,07
6	48,31	49,77	46,91	47,09	47,47	48,79	47,15	46,81
7	46,78	47,94	48,31	48,39	47,34	49,17	47,01	46,50
8	46,80	47,15	47,82	47,20	48,34	48,74	45,96	45,94
9	46,87	48,06	47,45	47,56	47,22	48,41	45,80	45,47
11	46,58	47,46	47,16	46,54	47,09	48,09	44,82	45,03
12	46,27	46,14	46,80	46,65	45,73	47,22	44,58	44,94
13	45,27	45,47	44,39	44,99	43,38	45,63	43,90	44,08
15	45,51	45,61	45,24	44,81	43,30	44,50	44,54	42,97
Coordenada a*								
Tempo (dias)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	-6,37	-6,37	-6,37	-6,37	-6,37	-6,37	-6,37	-6,37
1	1,63	-4,74	2,06	5,50	5,57	4,60	5,93	6,42
2	5,13	3,63	7,90	9,78	12,18	10,63	13,78	14,96
3	9,45	11,33	18,17	22,18	23,36	21,29	22,59	23,12
4	22,84	19,62	27,51	29,85	25,60	24,22	25,09	29,74
5	28,71	25,37	29,06	30,29	31,37	30,00	30,19	31,25

6	30,29	28,14	31,89	33,35	32,33	32,29	33,20	33,85
7	31,50	28,81	31,99	33,30	32,72	32,43	33,95	34,08
8	32,91	31,89	32,98	33,37	32,33	34,00	34,97	34,66
9	32,59	31,48	32,39	33,05	33,26	33,49	34,53	34,81
11	33,04	32,37	32,65	34,14	34,62	33,38	36,16	36,17
12	32,70	33,19	32,70	34,86	34,70	33,27	36,35	36,34
13	34,31	35,44	36,80	36,98	36,72	35,44	36,86	37,18
15	33,53	34,40	35,86	36,60	37,02	37,04	36,84	37,73
Coordenada b*								
Tempo (dias)	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
0	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00	33,00
1	36,31	38,52	38,05	40,28	41,53	39,96	41,48	43,48
2	42,34	42,23	35,44	40,81	42,18	40,48	42,10	42,45
3	44,80	40,80	35,89	39,60	40,17	40,52	39,44	40,17
4	39,34	40,77	36,97	38,52	39,14	40,03	39,07	37,64
5	37,74	37,45	35,81	37,82	37,10	37,40	39,02	36,40
6	37,03	37,12	35,14	37,85	35,04	37,68	35,83	35,39
7	35,97	37,17	35,25	38,56	37,14	39,50	35,48	35,37
8	35,96	34,77	34,92	37,82	36,74	39,46	35,16	35,81
9	36,27	38,10	34,41	37,80	37,02	38,01	34,35	35,72
11	36,93	36,22	38,18	37,39	37,07	38,46	33,60	35,36
12	36,50	35,94	37,81	35,78	36,36	38,79	33,56	34,93
13	36,09	36,06	34,99	34,53	31,87	35,88	33,10	34,13
15	35,12	35,51	34,68	32,70	31,01	32,90	31,61	31,90

A falta de valores das coordenadas L*, a* e b* nos dias 10 e 14 deve-se a problemas ocorridos com o colorímetro durante a leitura destes parâmetros.

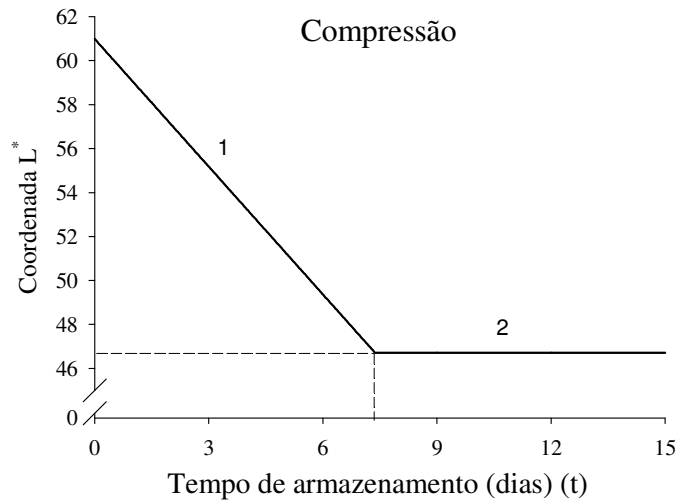
Os resultados das variáveis responsáveis pela avaliação da cor dos tomates foram ajustados pelo modelo Linear Response Plateau (LRP). Este modelo proporciona uma interpretação simplificada da curva-resposta e consiste em dois segmentos: uma reta com declividade positiva ou negativa e um platô, ou seja, uma reta paralela ao eixo x, assumindo que a partir daquele ponto o valor da variável em estudo não altera mais.

Na Figura 5 é mostrada a representação da coordenada L^* ao longo do tempo de armazenamento dos tomates para todos os tratamentos.



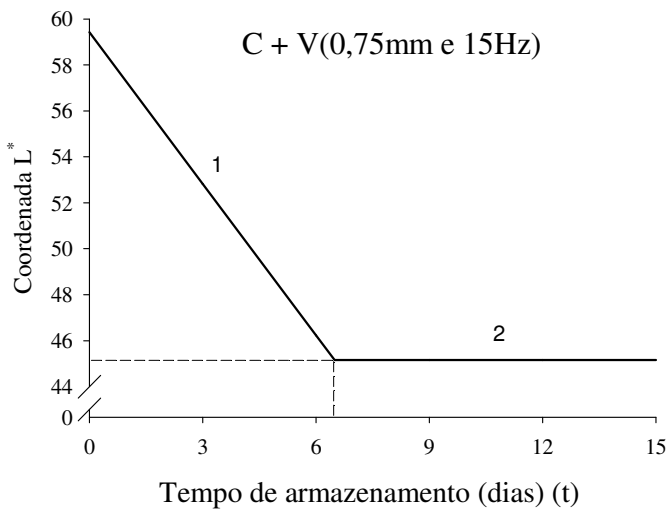
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 61,98 - 2,361^{**}t \quad 0 \leq t < 6,65 \quad r^2=0,9329$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 46,27 \quad 6,65 \leq t \leq 15$$



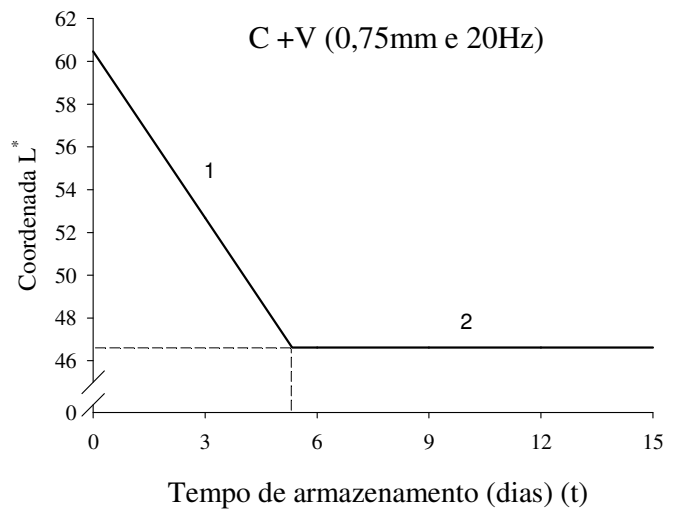
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 60,99 - 1,937^{**}t \quad 0 \leq t < 7,37 \quad r^2=0,9741$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 46,71 \quad 7,37 \leq t \leq 15$$



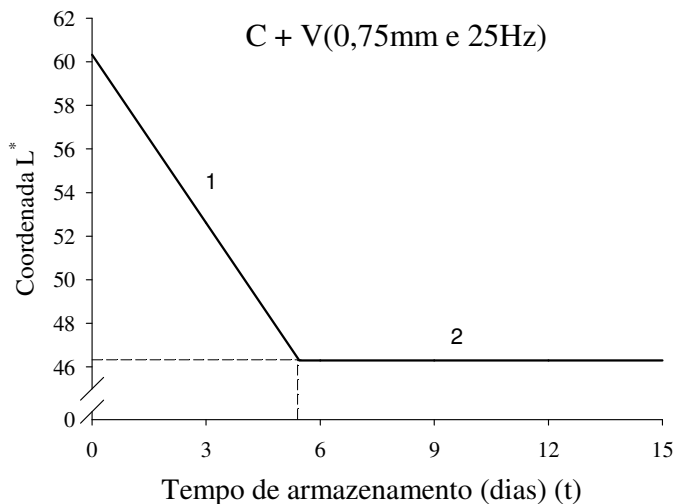
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 59,42 - 2,198^{**}t \quad 0 \leq t < 6,49 \quad r^2=0,9404$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 45,15 \quad 6,49 \leq t \leq 15$$



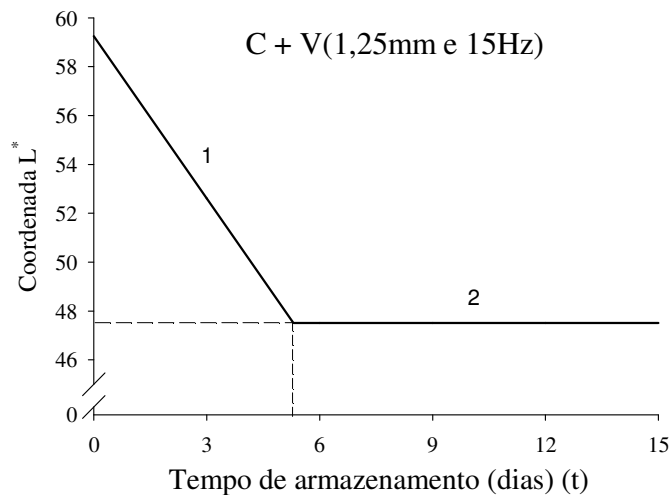
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 60,46 - 2,593^{**}t \quad 0 \leq t < 5,33 \quad r^2=0,9624$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 46,62 \quad 5,33 \leq t \leq 15$$



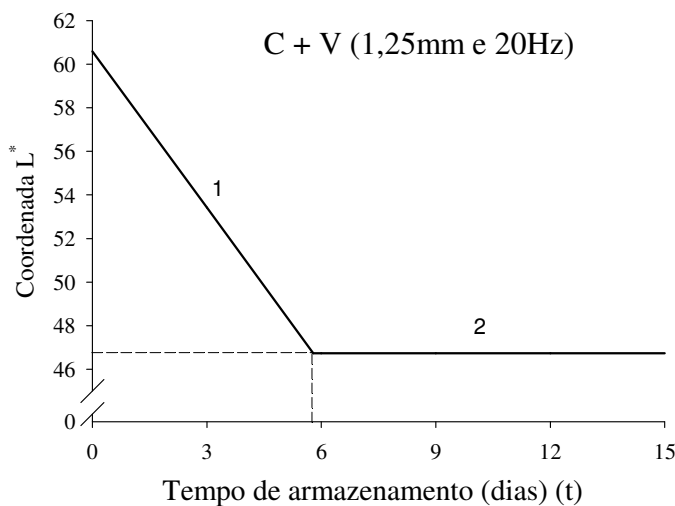
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 60,33 - 2,574^{**} t \quad 0 \leq t < 5,44 \quad r^2 = 0,9782$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 46,30 \quad 5,44 \leq t \leq 15$$



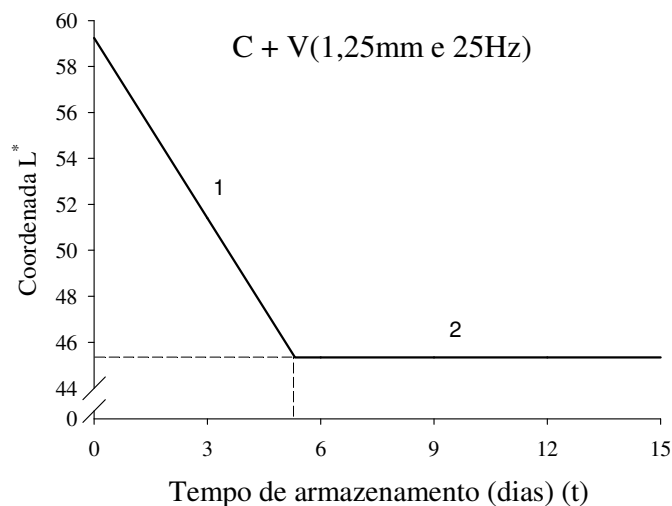
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 59,25 - 2,212^{**} t \quad 0 \leq t < 5,30 \quad r^2 = 0,9284$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 47,51 \quad 5,30 \leq t \leq 15$$



$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 60,59 - 2,392^{**} t \quad 0 \leq t < 5,79 \quad r^2 = 0,9420$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 46,73 \quad 5,79 \leq t \leq 15$$



$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 59,24 - 2,616^{**} t \quad 0 \leq t < 5,31 \quad r^2 = 0,9731$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 45,34 \quad 5,31 \leq t \leq 15$$

Figura 5. Modelo LRP da coordenada L^* em função do tempo de armazenamento em dias, para os respectivos tratamentos.

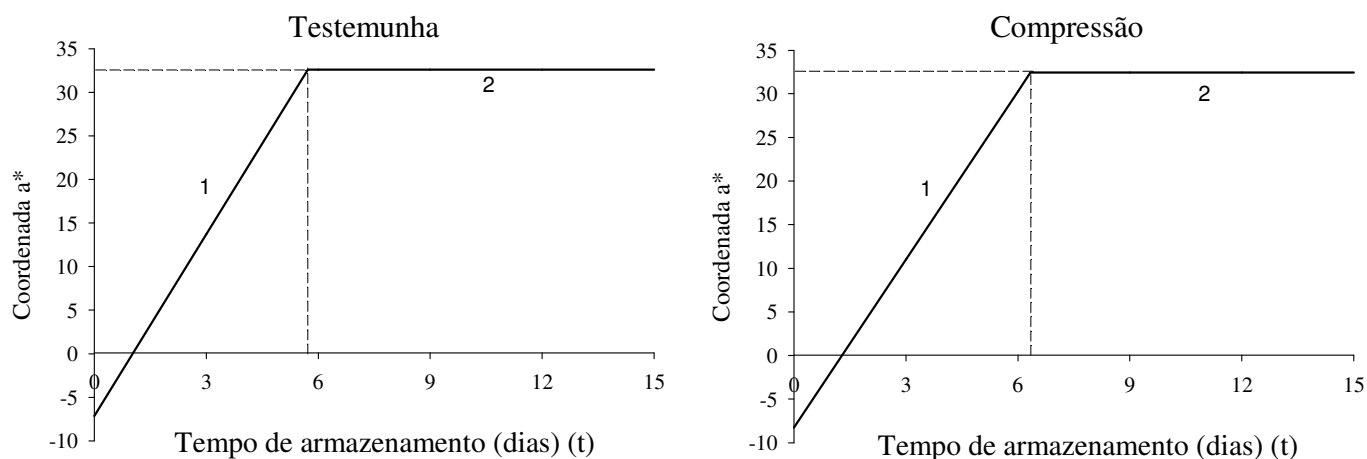
Observou-se um decréscimo nos valores da coordenada L^* durante o tempo de armazenamento para todos os tratamentos. A diminuição dos valores desta coordenada indica o escurecimento da cor da periderme à medida que os frutos amadurecem,

representando a perda de brilho dos frutos, além do escurecimento devido à coloração avermelhada (CARVALHO et al., 2005).

Percebeu-se que os tratamentos, onde a compressão foi associada à vibração, o amadurecimento ocorreu mais rápido, pois a coordenada L^* atingiu o platô a partir do dia 5,33 com exceção do tratamento C + V(0,75mm e 15Hz), enquanto que os frutos do tratamento testemunha e compressão passaram a ter comportamento uniforme da coordenada L^* nos dias 6,65 e 7,37 respectivamente.

Diante disso, a exposição à vibração intensificou os possíveis danos causados pela compressão, acelerando o amadurecimento dos tomates.

Na Figura 6 observa-se a representação da coordenada a^* ao longo do tempo de armazenamento dos tomates para todos os tratamentos.

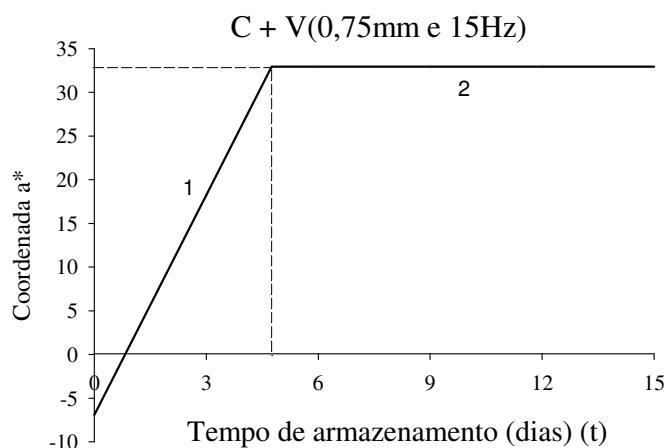


$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = -7,14 + 6,952^{**} t \quad 0 \leq t < 5,71 \quad r^2 = 0,9650$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 32,60 \quad 5,71 \leq t \leq 15$$

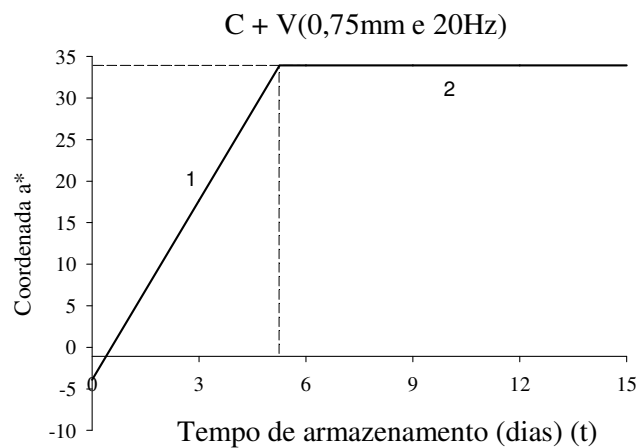
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = -8,24 + 6,420^{**} t \quad 0 \leq t < 6,33 \quad r^2 = 0,9789$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 32,44 \quad 6,33 \leq t \leq 15$$



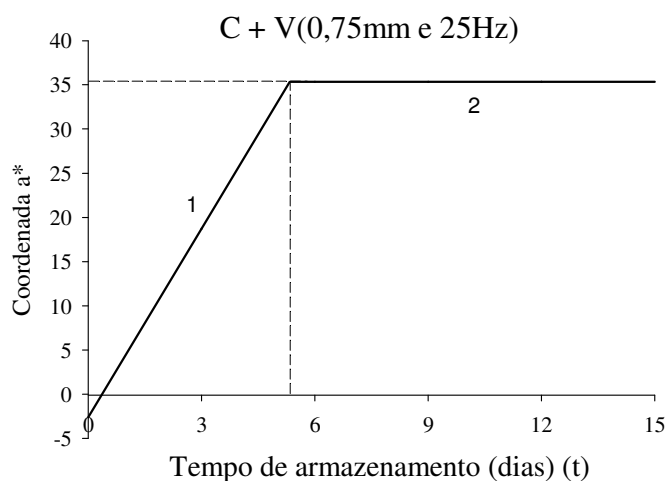
Eq.1) $\hat{Y} = -6,92 + 8,388^{**}t \quad 0 \leq t < 4,75 \quad r^2=0,9925$

Eq.2) $\hat{Y} = 32,92 \quad 4,75 \leq t \leq 15$



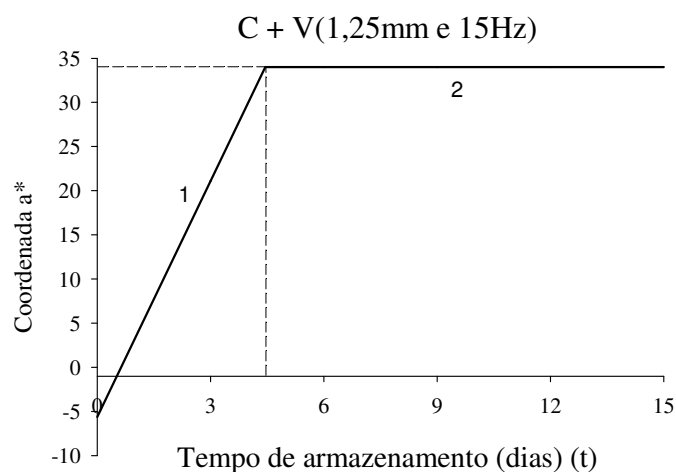
Eq.1) $\hat{Y} = -3,89 + 7,182^{**}t \quad 0 \leq t < 5,26 \quad r^2=0,9724$

Eq.2) $\hat{Y} = 33,92 \quad 5,26 \leq t \leq 15$



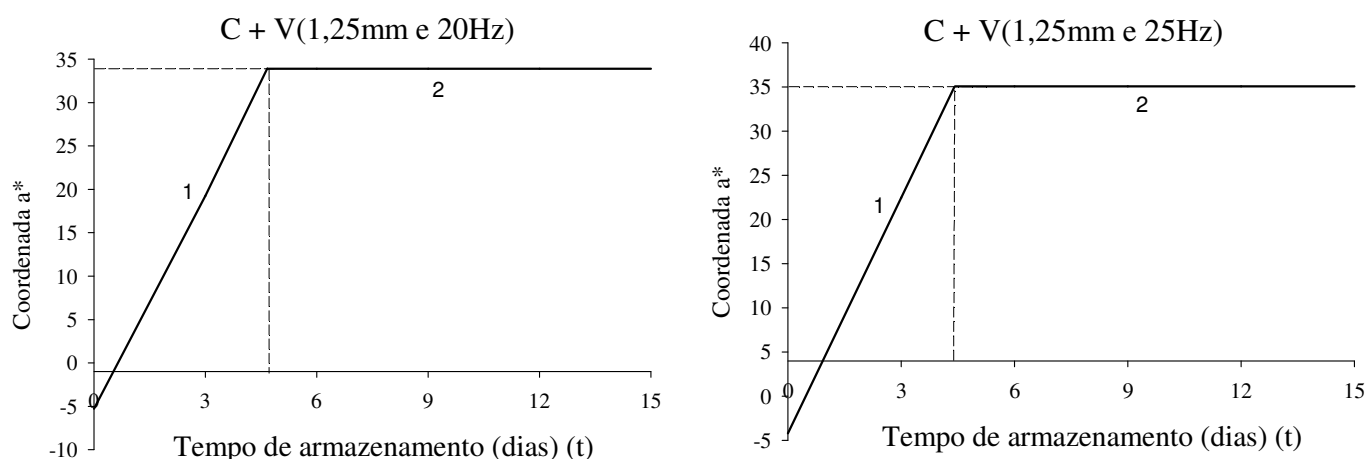
Eq.1) $\hat{Y} = -2,62 + 7,111^{**}t \quad 0 \leq t < 5,33 \quad r^2=0,9547$

Eq.2) $\hat{Y} = 35,35 \quad 5,33 \leq t \leq 15$



Eq.1) $\hat{Y} = -5,63 + 8,912^{**}t \quad 0 \leq t < 4,44 \quad r^2=0,9845$

Eq.2) $\hat{Y} = 33,99 \quad 4,44 \leq t \leq 15$



$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = -5,27 + 8,173 \cdot t \quad 0 \leq t < 4,67 \quad r^2 = 0,9641$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 33,89 \quad 4,67 \leq t \leq 15$$

$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = -4,21 + 8,893 \cdot t \quad 0 \leq t < 4,41 \quad r^2 = 0,9842$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 35,06 \quad 4,41 \leq t \leq 15$$

Figura 6. Modelo LRP da coordenada a^* em função do tempo de armazenamento em dias, para os respectivos tratamentos.

Como a coordenada a^* define a coloração entre verde (menores valores) e vermelho (maiores valores) é, portanto a coordenada que se altera com maior evidência em relação as outras, uma vez que os frutos foram colhidos no estágio de maturação verde maduro e quando maduros apresentam uma coloração vermelho intensa. Dessa forma, alguns autores (LÓPEZ CAMELO e GÓMEZ, 2004; JING et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2012) consideram que 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.

Esta variação de cor ocorreu em um curto intervalo de tempo e se deve à redução da clorofila e síntese de licopeno que ocorre nos frutos ao longo do seu amadurecimento.

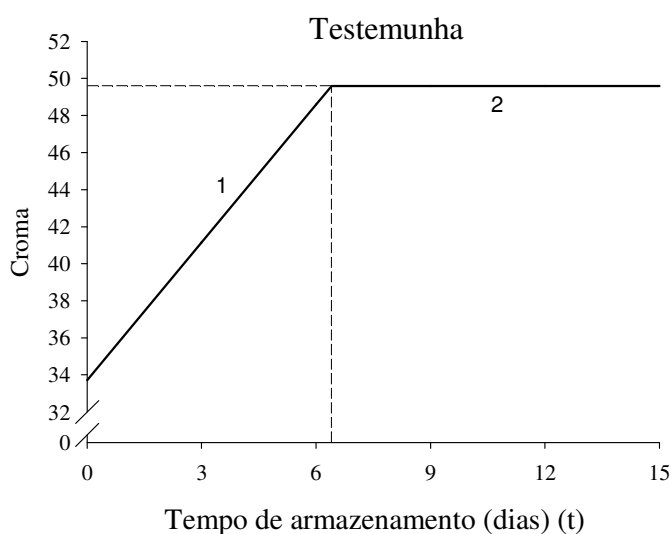
Observou-se que os frutos testemunha e do tratamento compressão apresentaram um amadurecimento mais lento ao longo do armazenamento, atingindo o platô nos dias 5,71 e 6,33 respectivamente, com os menores valores para a coordenada a^* (32,6 e 32,44). Este comportamento indica que os frutos submetidos à compressão mantiveram o mesmo comportamento dos frutos testemunha. Esperava-se que o esforço de compressão fosse aumentar a atividade metabólica devido ao estresse que foi causado aos tomates, o que consequentemente iria aumentar a taxa respiratória e assim acelerar o

amadurecimento. Este fato também foi observado por Oliveira (2010a) que justificou que, provavelmente, ocorreram alterações na disposição intracelular dos frutos 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.

Silva e Calbo (1992) concluíram que tomates comprimidos obtiveram menores valores de CO₂ (menor taxa respiratória) ao longo do armazenamento, atrasando o amadurecimento.

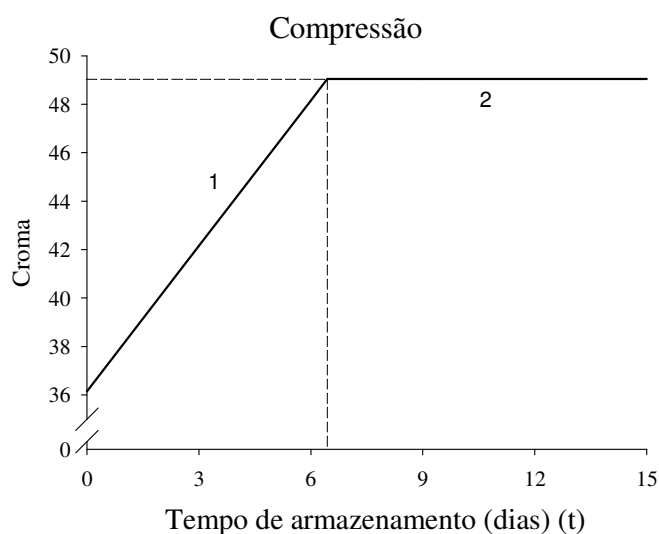
Já os frutos submetidos à vibração na amplitude de 1,25 mm nos três níveis de frequência (15, 20 e 25 Hz) atingiram o platô a partir do dia 4,41, indicando que o fator amplitude apresentou maior influência no amadurecimento dos frutos independente da frequência empregada. Esses frutos devem ser comercializados mais rápidos, pois atingiram o amadurecimento 1 dia antes dos frutos testemunha e praticamente 2 dias antes dos frutos que sofreram apenas a compressão, possuindo portanto um menor tempo de prateleira, com maiores riscos de perdas de estoque ao comerciante.

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 e GÓMEZ, 2004). Ademais, Shewfelt (1993) explicou que a percepção da coloração pelos seres humanos é obtida em termos de luminosidade, ângulo hue e croma. Desta forma, nas Figuras 7 e 8 observa-se a evolução dos índices croma e ângulo hue respectivamente.



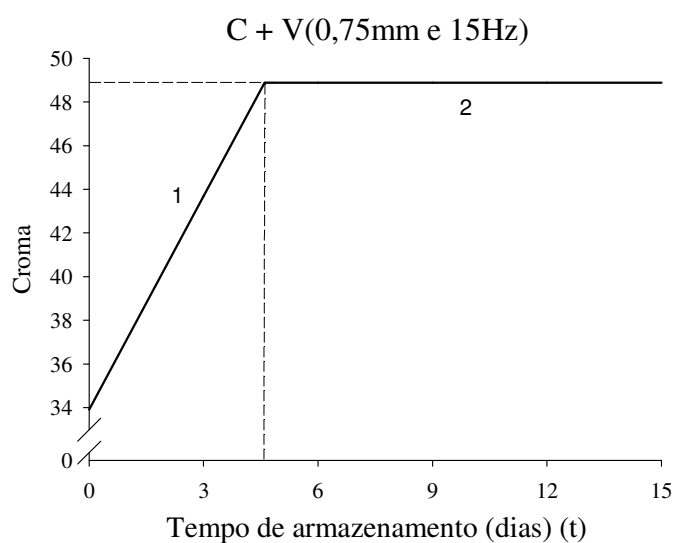
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 33,71 + 2,478^{**}t \quad 0 \leq t < 6,40 \quad r^2 = 0,9436$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 49,59 \quad 6,40 \leq t \leq 15$$



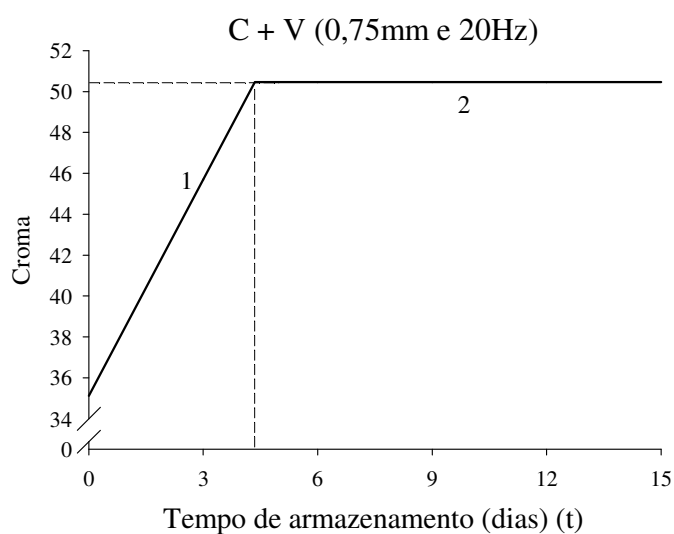
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 36,14 + 2,004^{**}t \quad 0 \leq t < 6,43 \quad r^2 = 0,8744$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 49,04 \quad 6,43 \leq t \leq 15$$



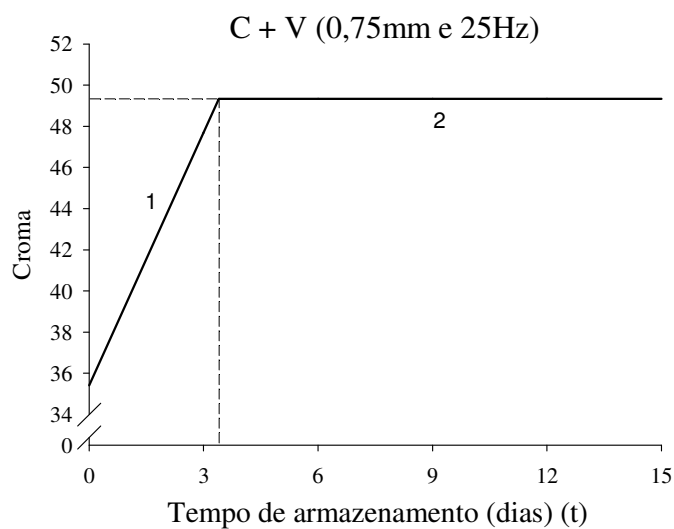
Eq.1) $\hat{Y} = 33,92 + 3,254^{**}t \quad 0 \leq t < 4,60 \quad r^2=0,9624$

Eq.2) $\hat{Y} = 48,89 \quad 4,60 \leq t \leq 15$



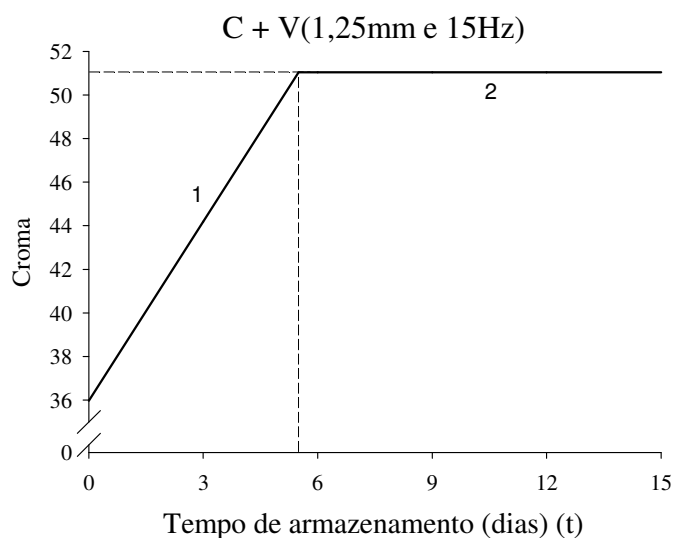
Eq.1) $\hat{Y} = 35,12 + 3,525^{**}t \quad 0 \leq t < 4,35 \quad r^2=0,9483$

Eq.2) $\hat{Y} = 50,46 \quad 4,35 \leq t \leq 15$



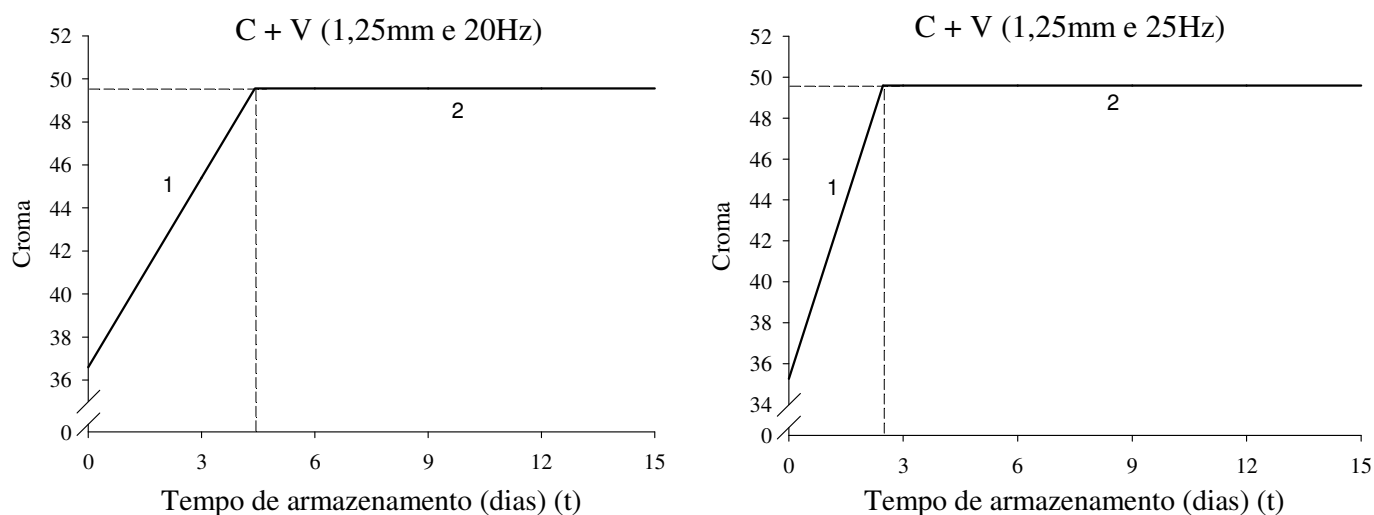
Eq.1) $\hat{Y} = 35,41 + 4,092^{**}t \quad 0 \leq t < 3,40 \quad r^2=0,8867$

Eq.2) $\hat{Y} = 49,33 \quad 3,40 \leq t \leq 15$



Eq.1) $\hat{Y} = 35,97 + 2,740^{**}t \quad 0 \leq t < 5,49 \quad r^2=0,9020$

Eq.2) $\hat{Y} = 51,04 \quad 5,49 \leq t \leq 15$



$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 36,60 + 2,936^{**}t \quad 0 \leq t < 4,41 \quad r^2 = 0,8034$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 49,56 \quad 4,41 \leq t \leq 15$$

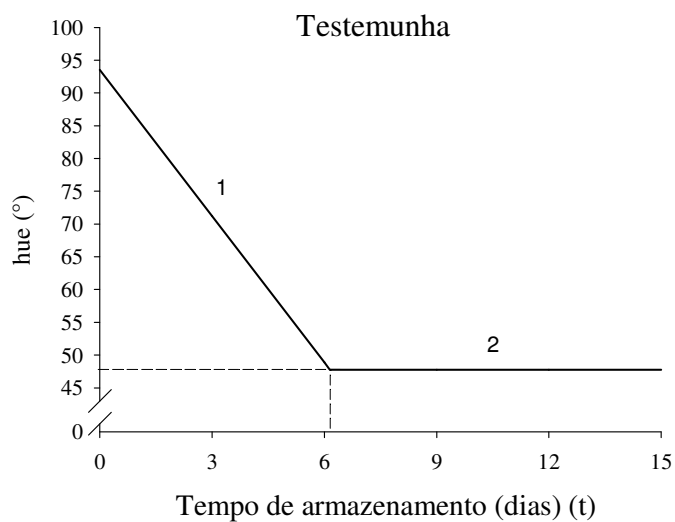
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 35,26 + 5,798^{**}t \quad 0 \leq t < 2,47 \quad r^2 = 0,8086$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 49,58 \quad 2,47 \leq t \leq 15$$

Figura 7. Modelo LRP do Croma em função do tempo de armazenamento em dias, para os respectivos tratamentos.

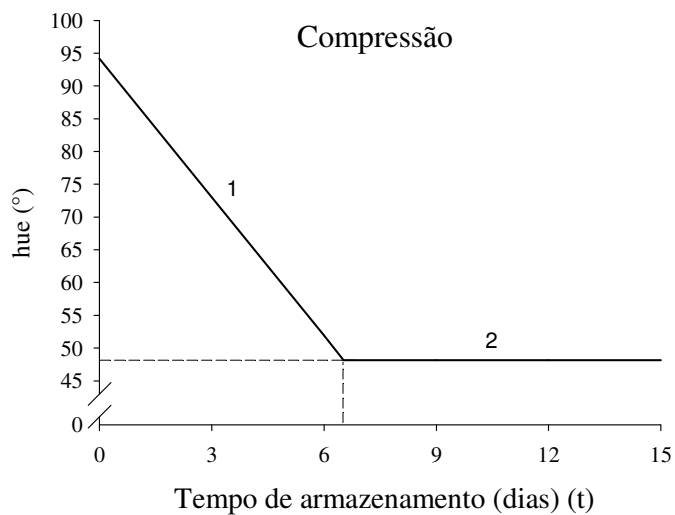
Observou-se aumento nos valores do croma durante o tempo de armazenamento para todos os tratamentos. Este aumento indica um decréscimo da tonalidade da coloração da periderme dos frutos, em que maiores valores levam a coloração a se tornar mais homogênea (menor tonalidade e aumento da pureza da cor). Dessa forma, o aumento do índice croma é um importante indicador do amadurecimento dos frutos. Outros autores, trabalhando com diferentes frutos, também observaram este comportamento (HERNÁNDEZ et al., 2007; OLIVEIRA, 2010a; OLIVEIRA et al., 2012).

Assim como para as coordenadas L^* e a^* , os frutos dos tratamentos testemunha e compressão demoraram mais a atingir o amadurecimento, atingindo o valor constante do croma nos dias 6,40 e 6,43, respectivamente. Já os frutos que foram submetidos aos maiores níveis de frequência (25Hz) foram os que amadureceram mais rápido, atingindo o platô nos dias 3,40 e 2,47 para as amplitudes de 0,75mm e 1,25mm, respectivamente, indicando que na análise do índice colorimétrico croma, o fator frequência apresentou maior influência independente da amplitude empregada nos ensaios.



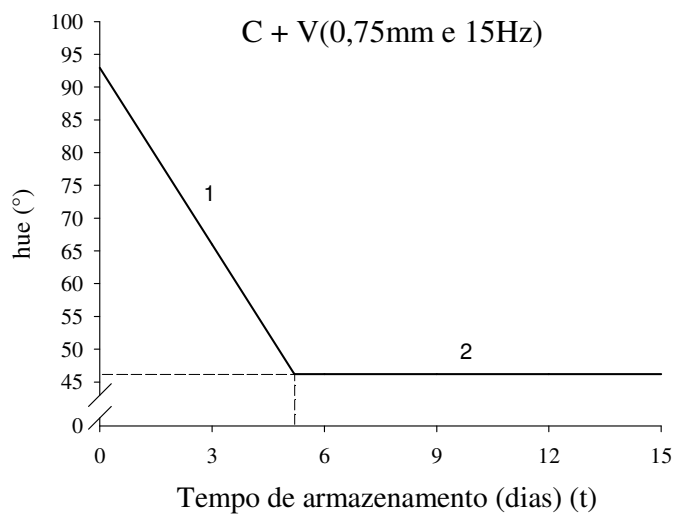
Eq.1) $\hat{Y} = 93,54 - 7,447^{**}t \quad 0 \leq t < 6,14 \quad r^2=0,9611$

Eq.2) $\hat{Y} = 47,76 \quad 6,14 \leq t \leq 15$



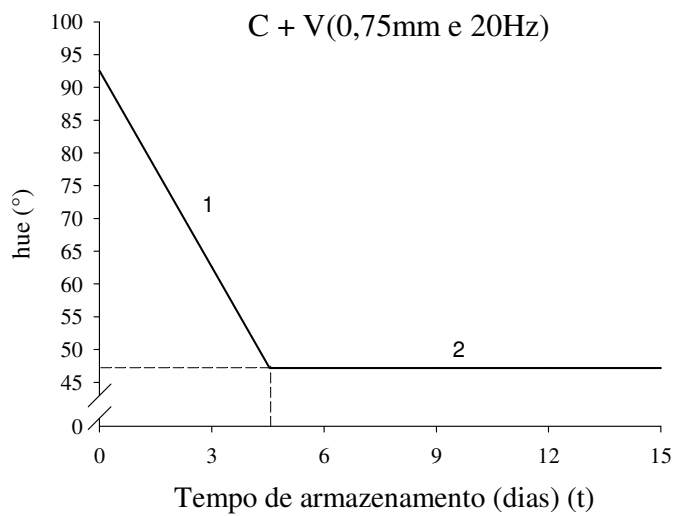
Eq.1) $\hat{Y} = 94,17 - 7,048^{**}t \quad 0 \leq t < 6,52 \quad r^2=0,9736$

Eq.2) $\hat{Y} = 48,15 \quad 6,52 \leq t \leq 15$



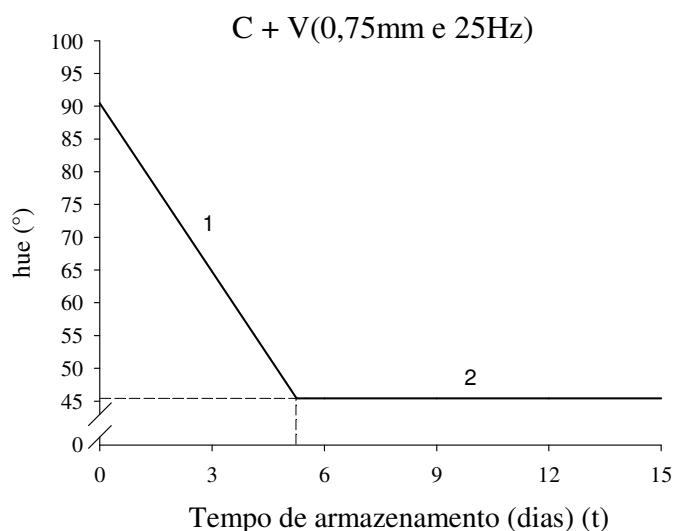
Eq.1) $\hat{Y} = 92,93 - 8,986^{**}t \quad 0 \leq t < 5,20 \quad r^2=0,9713$

Eq.2) $\hat{Y} = 46,19 \quad 5,20 \leq t \leq 15$



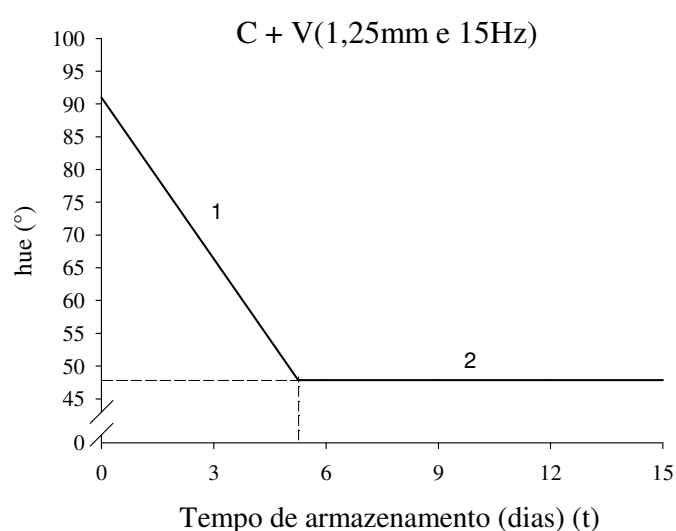
Eq.1) $\hat{Y} = 92,56 - 9,981^{**}t \quad 0 \leq t < 4,54 \quad r^2=0,9808$

Eq.2) $\hat{Y} = 47,15 \quad 4,54 \leq t \leq 15$



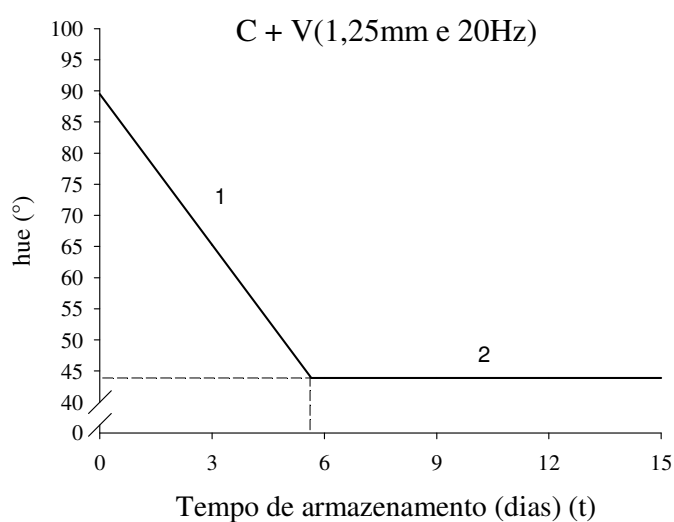
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 90,44 - 8,556^{**}t \quad 0 \leq t < 5,26 \quad r^2 = 0,9752$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 45,41 \quad 5,26 \leq t \leq 15$$



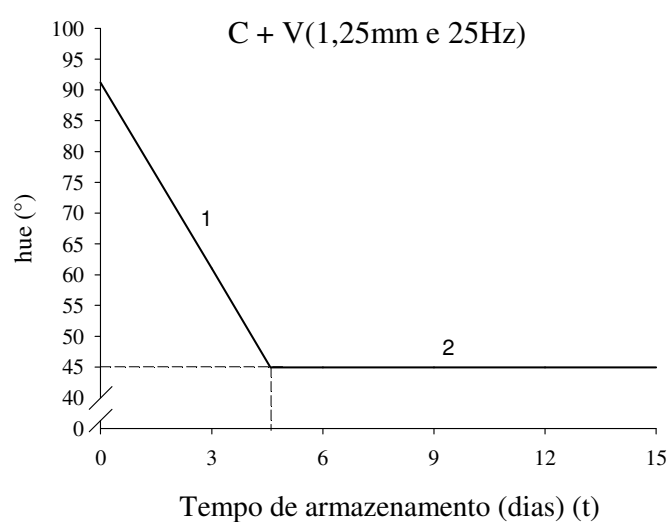
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 90,98 - 8,210^{**}t \quad 0 \leq t < 5,25 \quad r^2 = 0,9827$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 47,83 \quad 5,25 \leq t \leq 15$$



$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 89,50 - 8,073^{**}t \quad 0 \leq t < 5,65 \quad r^2 = 0,9696$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 43,86 \quad 5,65 \leq t \leq 15$$



$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 91,17 - 10,06^{**}t \quad 0 \leq t < 4,59 \quad r^2 = 0,9981$$

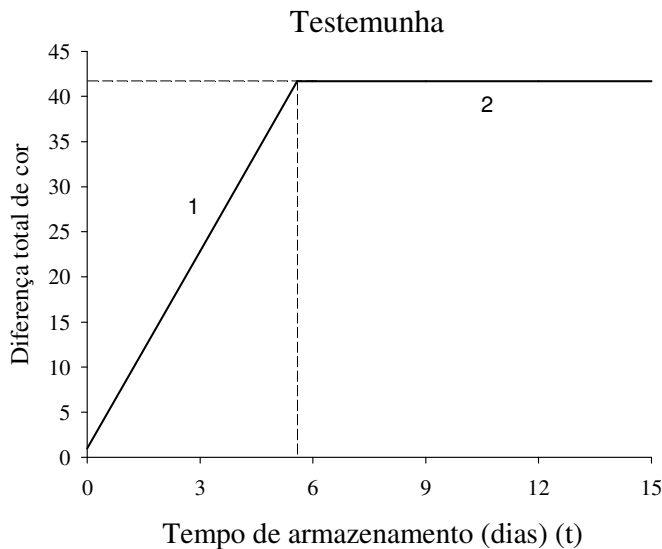
$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 44,95 \quad 4,59 \leq t \leq 15$$

Figura 8. Modelo LRP do ângulo hue em função do tempo de armazenamento em dias, para os respectivos tratamentos.

O ângulo hue decresceu ao longo do tempo de armazenamento dos tomates, sendo que este comportamento sugere a alteração da coloração da periderme dos frutos

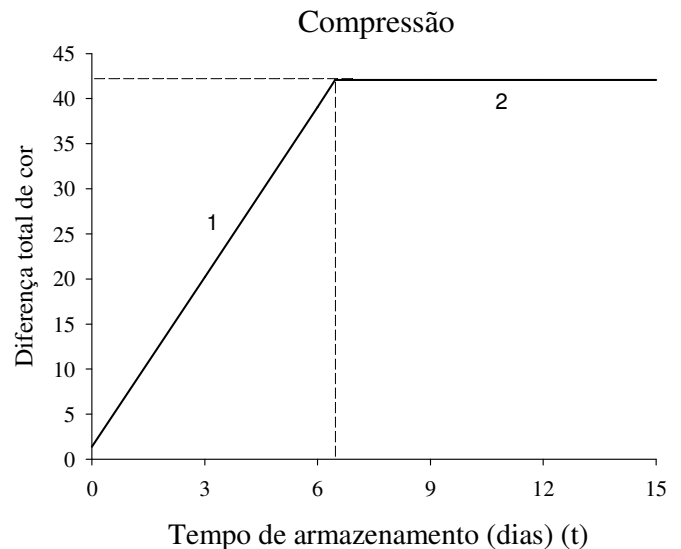
de tomateiro do verde para o vermelho. De acordo com Ferrer et al. (2005), as mudanças na coloração de diversos frutos envolvem a perda de clorofila pela atividade da enzima clorofilase, além da síntese de novos pigmentos, como, por exemplo, os carotenóides e/ou as antocianinas, bem como o desmascaramento de outros pigmentos que foram formados anteriormente durante o desenvolvimento dos frutos.

Na Figura 9 observa-se o comportamento da diferença total de cor (ΔE) da periderme dos tomates em função do tempo de armazenagem.



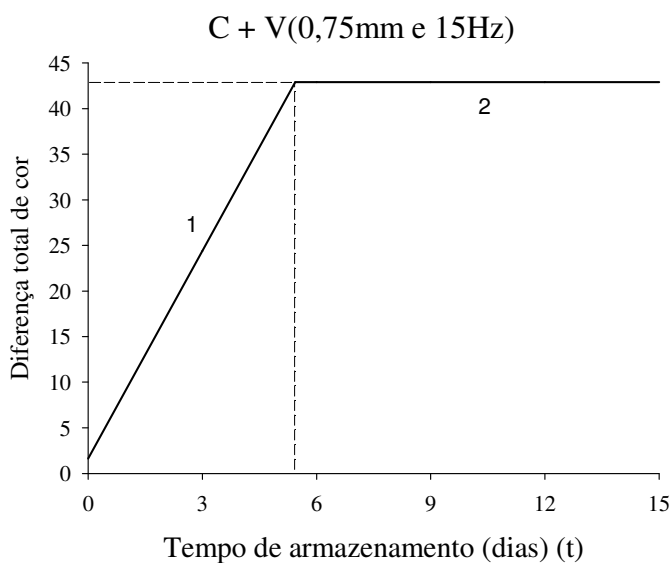
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 1,01 + 7,279^{**}t \quad 0 \leq t < 5,58 \quad r^2=0,9740$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 41,67 \quad 5,58 \leq t \leq 15$$



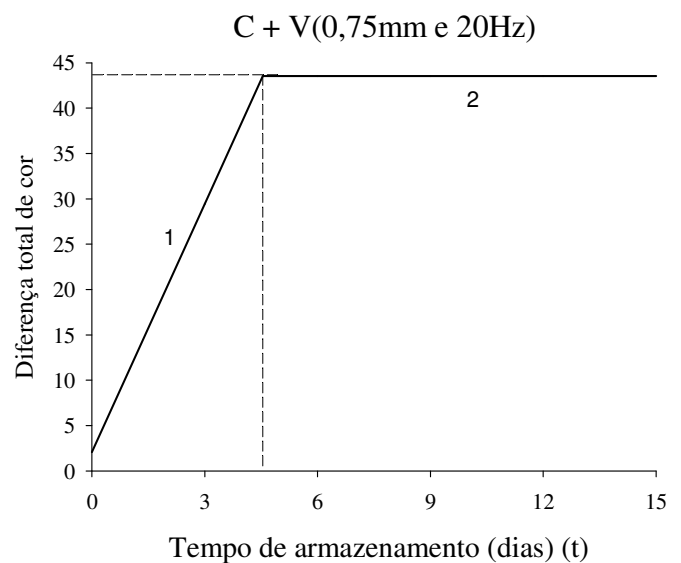
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 1,37 + 6,282^{**}t \quad 0 \leq t < 6,47 \quad r^2=0,9871$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 42,07 \quad 6,47 \leq t \leq 15$$



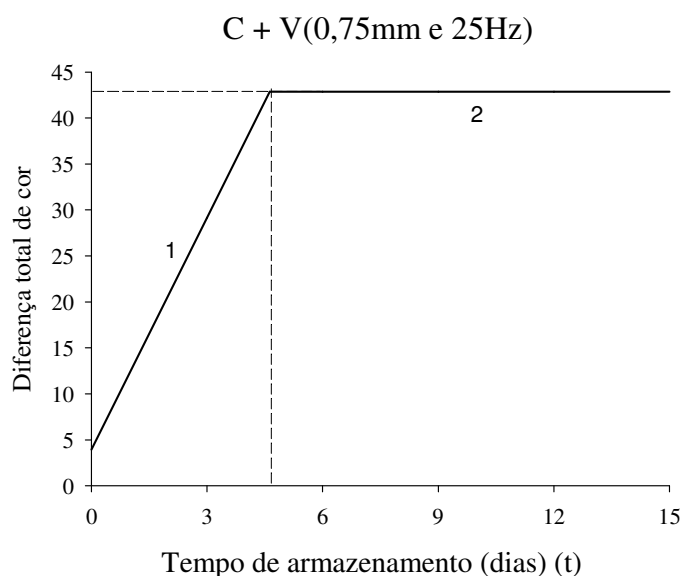
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 1,65 + 7,580^{**}t \quad 0 \leq t < 5,44 \quad r^2=0,9800$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 42,90 \quad 5,44 \leq t \leq 15$$



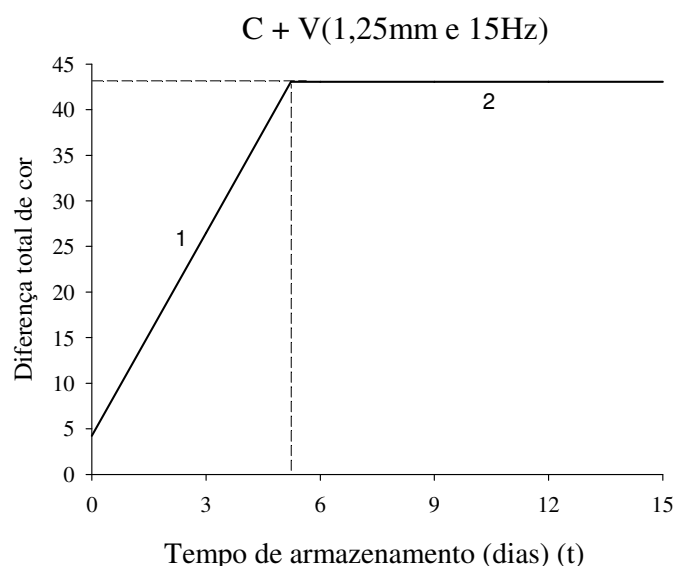
$$\text{Eq.1)} \hat{Y} = 2,088 + 9,120^{**}t \quad 0 \leq t < 4,54 \quad r^2=0,9777$$

$$\text{Eq.2)} \hat{Y} = 43,55 \quad 4,54 \leq t \leq 15$$



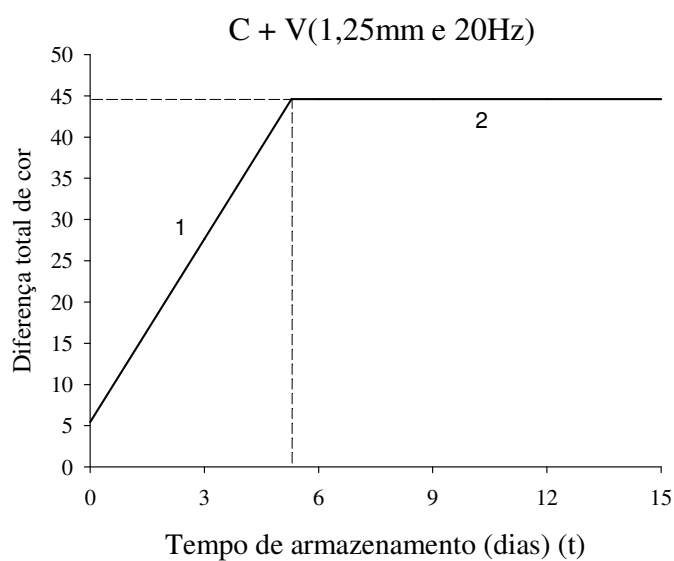
Eq.1) $\hat{Y} = 3,93 + 8,400^{**}t \quad 0 \leq t < 4,63 \quad r^2=0,9294$

Eq.2) $\hat{Y} = 42,87 \quad 4,63 \leq t \leq 15$



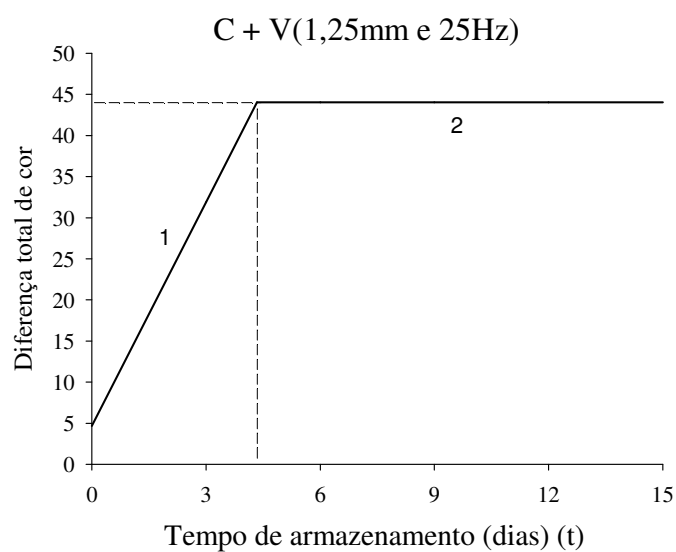
Eq.1) $\hat{Y} = 4,25 + 7,411^{**}t \quad 0 \leq t < 5,23 \quad r^2=0,9486$

Eq.2) $\hat{Y} = 43,08 \quad 5,23 \leq t \leq 15$



Eq.1) $\hat{Y} = 5,45 + 7,392^{**}t \quad 0 \leq t < 5,29 \quad r^2=0,9297$

Eq.2) $\hat{Y} = 44,60 \quad 5,29 \leq t \leq 15$



Eq.1) $\hat{Y} = 4,67 + 9,070^{**}t \quad 0 \leq t < 4,34 \quad r^2=0,9375$

Eq.2) $\hat{Y} = 44,05 \quad 4,34 \leq t \leq 15$

Figura 9. Modelo LRP da evolução total da cor da periderme dos tomates em função do tempo de armazenamento em dias, para os respectivos tratamentos

Percebe-se que os valores de ΔE aumentaram ao longo do armazenamento, vindo a se estabilizar a partir do dia 6,47 para os frutos submetidos apenas à

compressão. Já os frutos submetidos à compressão associada a vibração no maior nível de amplitude (1,25mm) para a frequência de 25Hz o platô foi atingido no dia 4,34, indicando que a alteração da coloração verde para vermelha foi mais intensa e mais rápida.

5.2. Propriedades químicas e texturais

Os resultados das análises de variância apresentados no Quadro 3 indicam que: os tratamentos tiveram efeito significativo no pH, na acidez total titulável (AT), na força de compressão (Fc) e no teor de licopeno (LIC). O tempo de armazenamento afetou significativamente todas as variáveis. Já a interação entre os tratamentos e o tempo de armazenamento foi significativa apenas para o teor de licopeno.

Quadro 3- Resumo da Análise de variância das variáveis pH, sólidos solúveis totais (SST), acidez titulável (AT), força de punção (Fp), força de compressão (Fc), módulo proporcional de deformidade (Ep) e licopeno (LIC), para os respectivos tratamentos (TR) e tempo (TE)

F.V	GL	Quadrados Médios						
		pH	SST	AT	Fp	Fc	Ep	LIC
TR	7	0,0295**	0,0159 ^{NS}	0,0026**	6,5776 ^{NS}	27,6624*	38263610 ^{NS}	255,8394**
Resíduo (a)	16	0,0077	0,0183	0,0005	3,9989	11,8006	18743410	41,3164
TE	5	1,4078**	0,3512**	0,0405**	221,8823**	915,4179**	1327003000**	15910,81**
TR x TE	35	0,0112 ^{NS}	0,0092 ^{NS}	0,0003 ^{NS}	2,5628 ^{NS}	5,5836 ^{NS}	7909740 ^{NS}	103,4646**
Resíduo (b)	80	0,0107	0,0307	0,0005	6,8141	11,0157	17379990	16,7401
CV (%) Parcela		1,71	3,44	9,70	17,29	22,09	23,57	16,96
CV (%) Subparcela		2,02	4,45	10,10	22,57	21,33	22,70	10,80

** F significativo ao nível de 1% de probabilidade.

* F significativo ao nível de 5% de probabilidade.

^{NS} F não significativo ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com os resultados observados no Quadro 4, os valores médios das variáveis pH, SST, acidez total titulável (AT), força de punção (Fp), força de compressão (Fc) e módulo proporcional de deformidade (Ep) não diferiram significativamente em relação a testemunha pelo teste Dunnet a 5% de probabilidade, exceto no tratamento de compressão associada a vibração na amplitude de 1,25mm e frequência de 15Hz na análise de pH, e nos tratamentos de compressão associada a vibração na amplitude de 1,25mm e frequências de 20Hz e 25Hz na análise de acidez

total titulável. Estes tratamentos que diferiram da testemunha foram submetidos à amplitude de 1,25 mm, indicando mais uma vez que o fator amplitude apresentou maior influência na qualidade dos frutos independente da frequência empregada nos ensaios.

Quadro 4- Valores médios das variáveis, pH, SST, AT, Fp, Fc e Ep dos tomates submetidos aos tratamentos: testemunha, compressão, compressão associada a vibração na amplitude de 0,75mm nas frequências de 15, 20 e 25 Hz e compressão associada a vibração na amplitude de 1,25mm nas frequências de 15, 20 e 25Hz, ao longo do tempo de armazenamento

Tratamentos	Variáveis					
	pH	SST (°brix)	AT (%)	Fp (N)	Fc (N)	Ep (MPa)
Testemunha	5,14	3,92	0,24	11,11	15,58	18428,02
Compressão	5,12	3,92	0,25	11,64	17,72	20918,54
C + V(0,75mm e 15Hz)	5,18	3,91	0,25	12,01	15,53	18195,91
C + V(0,75mm e 20Hz)	5,11	3,90	0,23	11,11	14,79	17465,97
C + V(0,75mm e 25Hz)	5,08	3,95	0,24	10,65	15,65	18483,66
C + V(1,25mm e 15Hz)	5,06*	3,89	0,23	12,40	16,72	19785,87
C + V(1,25mm e 20Hz)	5,09	3,96	0,22*	12,18	14,72	17378,25
C + V(1,25mm e 25Hz)	5,07	3,97	0,22*	11,39	13,71	16240,78

As médias com * na coluna diferem da testemunha ao nível de 5% de probabilidade pelo teste de DUNNETT

O Quadro 5 contém as equações de regressão que descrevem o comportamento do pH, SST, AT, Fp, Fc e Ep em função do tempo de armazenamento (t), bem como seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), ponto crítico (Pc), valor máximo ($V_{\max}$) e valor mínimo ($V_{\min}$).

Quadro 5- Equações de regressão ajustadas para pH, SST, AT, Fp, Fc e Ep dos tomates em função do tempo de armazenamento e seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), ponto crítico (Pc), valor máximo ($V_{\max}$) e valor mínimo ($V_{\min}$).

Variáveis	Equações ajustadas	R^2	Pc	$V_{\max}$	$V_{\min}$
pH	$\hat{Y} = 5,0408 + 0,09785^{**}t - 0,00803^{**}t^2$	0,9424	6,08	5,33	-
SST	$\hat{Y} = 3,8869 + 0,05248^{**}t - 0,00419^{**}t^2$	0,9669	6,24	4,05	-
AT	$\hat{Y} = 0,3047 - 0,01617^{*}t + 0,00064^{*}t^2$	0,9297	12,6	-	0,20
Fp	$\hat{Y} = 16,5575 - 1,11819^{**}t + 0,0411^{*}t^2$	0,9677	13,6	-	8,95
Fc	$\hat{Y} = 26,0654 - 2,50526^{**}t + 0,1003^{**}t^2$	0,9854	12,48	-	10,42
Ep	$\hat{Y} = 32086,6 - 7579,8^{**}t^{1/2} + 615,58^{*}t$	0,9952	37,9	-	8753,57

Verificou-se que todas as variáveis estudadas no Quadro 5 apresentaram um comportamento quadrático e altos valores do coeficiente de determinação, indicando que houve uma boa correspondência entre o período de armazenamento e os valores das variáveis pH, SST, acidez total, força de punção, força de compressão e módulo proporcional de deformidade.

Em relação ao pH, os frutos atingiram o valor máximo de 5,33 após seis dias de armazenamento, podendo ser considerados frutos não-ácidos. Segundo Gould (1992), para um fruto de tomate ser considerado ácido a sua acidez deve ser inferior a 4,5. Sousa et al. (2011) também encontraram valores de pH considerados elevados para tomates, na faixa de 4,64 - 5,08.

O valor do pH torna-se muito importante quando o fruto é destinado ao processamento, pois pH inferior a 4,5 é desejável para impedir a proliferação de microorganismos e valores superiores a pH 4,5, requerem períodos mais longos de esterilização da matéria prima em um processamento térmico, ocasionando maior consumo de energia e maior custo de processamento (MONTEIRO et al., 2008).

Porém, no comércio de alimentos *in natura*, as preferências pelas cultivares mais doces ou mais ácidas dependem dos hábitos alimentares dos consumidores e dos padrões culturais regionais. Segundo Borguini e Silva (2007), tomates excessivamente ácidos são rejeitados pelo consumidor, principalmente pela população brasileira, cujo hábito parece priorizar o consumo de alimentos sem tal característica. Portanto, é necessário disponibilizar ao mercado cultivares com diferentes padrões físico-químicos e sensoriais.

Os valores de sólidos solúveis totais foram crescentes até o sexto dia de armazenamento, atingindo um valor máximo de 4,05 °brix, sendo inferior ao valor médio do tomate destinado para o processamento industrial, que é de 4,5 °brix (GIORDANO et al., 2000).

De acordo com Getinet et al., (2008), o aumento no teor de SST é atribuído, principalmente, à transformação do amido presente nos frutos em açúcares, decorrente do processo de amadurecimento do produto.

Sammi e Masud (2009) analisaram o efeito de diferentes embalagens na conservação da qualidade pós-colheita dos frutos de tomateiro e obtiveram faixa de °brix entre 3,616 e 5,250 para tomates com grau de maturação entre verde-maduro e vermelho. Oliveira et al., (2012) estudaram o efeito do esforço de compressão controlada em frutos de tomates e encontraram valores entre 3,09 a 4,72 °brix corroborando com o presente trabalho (3,88 a 4,05 °brix).

Entretanto esta faixa de SST não é considerada aceitável para os consumidores (BUSCH et al., 2008). Estes autores concluíram que, mediante análise sensorial, os tomates aptos a serem consumidos seriam aqueles com °brix acima de 5,2. Azodanlou et al. (2003), também mediante análise sensorial, relataram que tomates com °brix acima de 5,1 são preferidos pelos provadores.

A acidez total titulável diminuiu durante o armazenamento dos tomates, porém a variação foi muito pequena, sendo que no início os frutos possuíam 0,30% de ácido cítrico chegando ao valor mínimo de 0,20% após 12 dias de armazenamento.

A perda da acidez é desejável em grande parte dos frutos e marcante no processo de amadurecimento. KAYS (1991) afirma que após a colheita e durante o armazenamento, a concentração de ácidos orgânicos tende a declinar na maioria dos frutos, em consequência da larga utilização dessas substâncias como substrato respiratório.

A acidez tem grande influência no sabor dos frutos e a composição genética de cada fruto tem interferência no valor dessa variável, por isto na literatura é possível encontrar diferentes faixas de teor de ácidos em frutos de tomateiro. Sousa et al. (2011) encontraram valores elevados para acidez total titulável em trabalho conduzido com tomates orgânicos, na faixa de 1,17 à 1,39% de ácido cítrico. Estes valores são bem superiores aos encontrados por Nascimento et al. (2013), que observaram amplitude de variação da acidez total de 0,57 a 0,94%. Assim como no presente trabalho, Ferreira et al. (2010) encontraram acidez em torno de 0,20%.

Ainda de acordo com os resultados apresentados no Quadro 5, a força de punção dos frutos diminuiu durante o armazenamento, variando entre 16,55 N e 8,95 N para um tempo de armazenamento de 15 dias. De Ketelaere et al. (2006) relataram que a força resultante da penetração é reflexo de alterações nas propriedades mecânicas de materiais biológicos. Portanto, a sua utilização é importante indicador da firmeza e amadurecimento destes produtos (Wang et al., 2006).

As variações da força de penetração são devidas, principalmente, à perda de massa dos frutos, alterando a turgescência dos frutos. Mayor et al. (2007) explicaram que devido à alta tensão celular promovida pela maior turgescência dos frutos acaba por aumentar a firmeza e a elasticidade do tecido. Logo, frutos com menor perda de massa também possuem maior turgescência e, por conseguinte, maior força de penetração da periderme.

Outro aspecto inerente à força de rompimento da pele dos tomates é a sua relação com o amadurecimento. É sabido que a periderme dos frutos verdes requer maior força para que ocorra seu rompimento, decrescendo seus valores ao passo que os frutos se tornam maduros (Van Zeebroeck et al., 2007).

Lien et al. (2009) classificaram tomates por meio do teste de punção após danificação mecânica, relacionando a força de penetração com o amadurecimento destes frutos e a média reportada por estes autores da força de penetração foi de 25,59 N $\pm$ 2,46 N para frutos verdes, 15,27 N $\pm$ 3,03 N para frutos no estágio meio maduro e 6,90 N $\pm$ 2,22 N para frutos maduros, resultados semelhantes aos observados neste trabalho. Já Batu (2004) e Oliveira et al. (2015) concluíram que a força de penetração da periderme deve ser de 14 N, sendo que 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.

Para o estudo das alterações texturais de frutas, cereais, dentre outros, é necessário a utilização tanto de testes destrutivos quanto testes não destrutivos de forma a se obter, para cada produto, aquele que melhor retrata as alterações texturais destes produtos ao longo de sua vida de prateleira. Para isso, além do teste de punção foram realizados os testes de compressão e de relaxação.

No Quadro 5 são apresentados os valores médios observados da força máxima necessária para promover uma deformação específica de 0,005 m nos tomates.

Nota-se que a firmeza dos frutos decresceu durante o armazenamento atingindo o valor mínimo de 10,42 N no 13º dia de armazenamento. 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 correlacionaram a diminuição de firmeza de frutos diversos com o seu amadurecimento (De KETELAERE et al., 2006; SCHOUTEN et al., 2007; OLIVEIRA et al., 2015).

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, enquanto as alterações enzimáticas nas células causam a perda da integridade do produto ao longo do tempo. Este fato também é explicável pelo metabolismo climatérico dos frutos de tomate, que faz com que as pectinas da parede celular sofram degradação enzimática, o que reduz a firmeza (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

A partir da curva de “força-deformação”, obtida a partir do teste de compressão, podem-se obter parâmetros que caracterizam a resposta do material quando submetido a uma carga (RIBEIRO et al., 2007). Dentre as diversas propriedades mecânicas, o módulo de deformidade permite que se realizem comparações de resistência relativa entre os diversos materiais (RESENDE et al., 2007). 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 valor elevado do módulo de deformidade significa que uma força maior deve ser aplicada ao produto para que determinada deformação seja obtida (BATISTA et al., 2003). Observou-se que os valores do módulo proporcional de deformidade decresceram durante o armazenamento, variando entre 32,08 e 11,96 MPa no 15º dia de armazenamento. Esses resultados corroboram os observados por Oliveira et al. (2015), que obtiveram o módulo proporcional de deformidade na faixa de 40,62 a 24,99 Mpa para tomates submetidos a esforços de compressão. Alguns autores, trabalhando com diferentes produtos, apresentaram valores do módulo proporcional de deformidade, descritos no Quadro 6.

Quadro 6- Valores para fins de comparação do módulo proporcional de deformidade (Ep) para diferentes produtos

Produto	Ep (MPa)	Referência
Feijão	26 – 56,4	Resende et al. (2007)
Soja	16,8 - 54,2	Ribeiro et al. (2007)
Batata	60,3 – 125	Hicsasmaz e Rizvi (2005)
Frutos de café cereja	10 – 30	Couto et al. (2002)
Frutos de café verde	70 – 150	Couto et al. (2002)

Ainda sobre a textura dos tomates, estes são frutos com baixo teor de matéria seca, uma vez que possui em sua composição aproximadamente 95% de água (ROCHA et al., 2009), portanto a perda de água é um importante fator de alteração da textura, que pode prejudicar o aspecto comercial, causando murchamento e enrugamento da casca, diminuindo portanto o tempo de comercialização.

A perda de massa dos frutos é associada principalmente à perda de água ocasionada tanto pela transpiração como pela respiração de frutas e hortaliças. Na Figura 10 é mostrado o comportamento da perda de massa dos tomates, ao longo dos 15 dias de armazenamento.

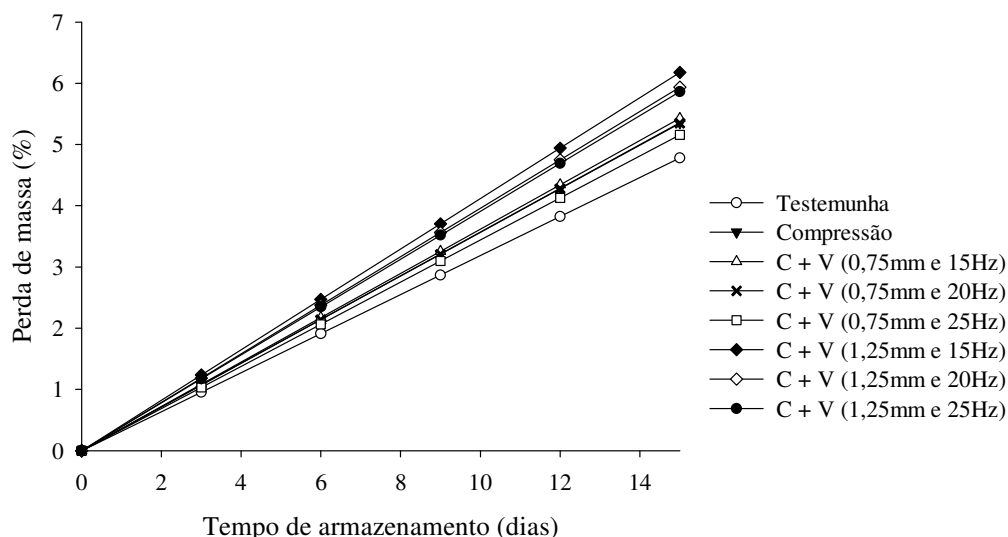


Figura 10. Perda de massa dos tomates em função do tempo de armazenamento em dias, para os respectivos tratamentos.

A perda de massa dos tomates variou entre 0 e 6,1 % durante o armazenamento. Segundo Chitarra e Chitarra (2005) perdas de até 3 % são aceitáveis, valores acima disso deixam o produto com aspecto murcho ou ressecado, interferindo na qualidade visual e, conseqüentemente, na sua rejeição pelo consumidor. Portanto, considerando essa faixa de perda de massa, nenhum tomate pode ser considerado comercializável ao final dos 15 dias de armazenagem.

Observa-se na Figura 10 que os frutos testemunha obtiveram menores valores de perda de massa durante o armazenamento do produto quando comparados com os frutos que sofreram os tratamentos de compressão e vibração, sendo considerados comercializáveis até o 9º dia de armazenamento. Já os tomates submetidos à compressão e vibração no maior nível de amplitude (1,25mm) foram os com maior taxa de perda de massa nos três níveis de frequência (15, 20 e 25 Hz) sendo considerados comercializáveis até o 7º dia de armazenamento.

Os resultados relativos à perda de massa dos tomates do presente trabalho seguem a tendência de diversas pesquisas com este mesmo produto. Ferreira et al. (2009) ao analisarem 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. Oliveira et al. (2015) analisando o efeito da compressão em tomates também observaram que os frutos armazenados em temperatura ambiente que não sofreram tratamento puderam ser armazenados durante 9 dias enquanto que os frutos submetidos à compressão foram considerados comercializáveis até o 6º dia.

No Quadro 7 estão contidas as equações de regressão ajustadas aos dados experimentais de perda de massa (PM).

Quadro 7- Equações ajustadas de perda de massa dos tomates em função do tempo de armazenamento (t), em dias, para os respectivos tratamentos.

Tratamento	Equação ajustada	r^2
Testemunha	$PM = 0,3185^{**} t$	0,9960
Compressão	$PM = 0,3570^{**} t$	0,9940
C + V (0,75mm e 15Hz)	$PM = 0,3617^{**} t$	0,9950
C + V (0,75mm e 20Hz)	$PM = 0,3565^{**} t$	0,9980
C + V (0,75mm e 25Hz)	$PM = 0,3438^{**} t$	0,9950
C + V (1,25mm e 15Hz)	$PM = 0,4116^{**} t$	0,9930
C + V (1,25mm e 20Hz)	$PM = 0,3957^{**} t$	0,9940
C + V (1,25mm e 25Hz)	$PM = 0,3909^{**} t$	0,9940

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

Os resultados referentes à análise de licopeno dos tomates ao longo do armazenamento podem ser observados no Quadro 8.

Quadro 8- Valores médios de licopeno ($\mu\text{g g}^{-1}$) para as respectivas combinações de tratamento (T1: testemunha, T2: compressão, T3: compressão associada a vibração na amplitude de 0,75mm e 15Hz, T4: compressão associada a vibração na amplitude de 0,75mm e 20Hz, T5: compressão associada a vibração na amplitude de 0,75mm e 25Hz, T6: compressão associada a vibração na amplitude de 1,25mm e 15Hz, T7: compressão associada a vibração na amplitude de 1,25mm e 20Hz e T8: compressão associada a vibração na amplitude de 1,25mm e 25Hz) e tempo

Trat	Dias de armazenamento						equação	r^2
	0	3	6	9	12	15		
T1	6,04 a	11,85 b	37,93 ab	41,10 a	58,87 abcd	72,36 cd	$\hat{Y}_i = 4,04 + 4,57^{**} t$	0,97
T2	6,04 a	11,77 b	36,36 abc	37,50 ab	47,42 d	67,12 d	$\hat{Y}_i = 6,74 + 3,46^{**} t$	0,94
T3	6,04 a	17,04 ab	31,93 abc	34,49 ab	52,54 cd	64,80 d	$\hat{Y}_i = 5,70 + 3,83^{**} t$	0,98
T4	6,04 a	18,06 ab	34,73 abc	27,17 b	55,08 bcd	75,85 cd	$\hat{Y}_i = 3,83 + 4,31^{**} t$	0,89
T5	6,04 a	20,98 ab	26,11 c	42,46 a	62,79 abc	83,84 ab	$\hat{Y}_i = 2,46 + 5,05^{**} t$	0,96
T6	6,04 a	18,91 ab	27,36 bc	33,56 ab	55,72 bcd	74,49 cd	$\hat{Y}_i = 3,24 + 4,37^{**} t$	0,95
T7	6,04 a	16,39 ab	29,74 bc	36,88 ab	67,51 a	92,17 a	$\hat{Y}_i = -0,76 + 5,63^{**} t$	0,94
T8	6,04 a	26,10 a	42,03 a	35,54 ab	66,10 ab	87,25 ab	$\hat{Y}_i = 6,74 + 4,94^{**} t$	0,91

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

O teste de média da análise de licopeno, ao nível de 5% de probabilidade, indicou diferença significativa entre todos os tratamentos realizados, com exceção do

dia 0, independentemente do uso da vibração e seus diferentes níveis de amplitude e frequência. Observou-se ainda que, ao longo dos dias de armazenamento houve aumento do teor de licopeno, variando entre 6,04 a 92,17 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Ao final do experimento, os frutos submetidos a compressão associada a vibração na amplitude de 0,75mm na frequência de 25Hz e compressão associada a vibração na amplitude de 1,25mm e nas frequências de 20 e 25 Hz apresentaram maiores valores de licopeno em relação aos frutos dos demais tratamentos, uma vez que tiveram as maiores taxa de crescimento. Isso indica que, o efeito da vibração só foi significativo nos tratamentos que usaram o maior nível de frequência (25Hz) independente do nível de amplitude.

Além disso, observou-se que a compressão foi insuficiente para causar diferença estatisticamente significativa ($p < 0,05$) entre os frutos testemunha e os que foram submetidos a esse tratamento.

Ao longo do armazenamento do tomate ocorre incremento da coloração avermelhada devido à síntese de licopeno e outros carotenóides. 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 ± 10 e $31 \pm 20 \mu\text{g g}^{-1}$, para as cultivares ‘Carmen’ e ‘Santa Cruz’, respectivamente. Estes valores corroboram com o presente trabalho, uma vez que a partir do 7º dia de armazenamento todos frutos já se encontravam maduros, de acordo com a coordena a*, com os valores de licopeno variando entre 27 e 42 $\mu\text{g g}^{-1}$.

Já Oliveira et al. (2012) estudaram o efeito do esforço de compressão controlada em frutos de tomates e encontraram valores de licopeno ao redor de 89,8 $\mu\text{g g}^{-1}$ para os tomates armazenados a 25 °C no 6º dia de armazenamento. No presente trabalho esses valores só foram atingidos no último dia de armazenamento quando os tomates já não se encontravam em boas condições de comercialização. 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.

5.3. Adequabilidade do modelo generalizado de Maxwell para descrever a relaxação dos frutos de tomate

No Quadro 9 observam-se os parâmetros do modelo generalizado de Maxwell para descrever o processo de relaxação dos tomates submetidos às condições de transporte simuladas ao longo do armazenamento.

Quadro 9- Valores do desvio padrão da estimativa (SE), erro médio relativo (P), coeficiente de determinação (R^2) e parâmetros (σ_e , A_1 , A_2 , A_3 , τ_1 , τ_2 e τ_3) do modelo generalizado de Maxwell obtidos pelo ajuste aos dados experimentais do processo de relaxação dos tomates em todas as condições de transporte simuladas, ao longo do período de armazenamento

Tratamento	Parâmetros	Tempo (dias)					
		0	3	6	9	12	15
TE	σ_e	0,8579	0,8518	0,8427	0,8213	0,8191	0,7799
	A_1	0,0889	0,1079	0,0994	0,1105	0,1225	0,1472
	A_2	0,0502	0,0708	0,0555	0,0632	0,0557	0,0705
	A_3	0,0010	0,0005	0,0004	0,0007	0,0009	0,0007
	$\tau_1(s)$	2,9602	3,1248	2,3961	3,4128	3,4688	2,9447
	$\tau_2(s)$	0,2775	0,2921	0,2556	0,3031	0,3102	0,3124
	$\tau_3(s)$	0,1681	0,1679	0,0947	0,1671	0,1625	0,1076
	SE	0,0010	0,0114	0,0056	0,0102	0,0013	0,0107
	P (%)	0,09	1,14	0,51	0,80	0,12	1,09
	R^2	0,9999	0,9937	0,9964	0,9915	0,9998	0,9939
C	σ_e	0,8579	0,8327	0,8223	0,8139	0,8148	0,7707
	A_1	0,0889	0,1202	0,1236	0,1197	0,1170	0,1641
	A_2	0,0502	0,0441	0,0507	0,0628	0,0635	0,0639
	A_3	0,0010	0,0007	0,0008	0,0005	0,0002	0,0008
	$\tau_1(s)$	2,9602	2,2611	2,6243	2,6353	2,9865	4,1332
	$\tau_2(s)$	0,2775	0,2417	0,3045	0,2667	0,3012	0,3818
	$\tau_3(s)$	0,1681	0,1657	0,1651	0,1112	0,1433	0,1749
	SE	0,0010	0,02	0,0093	0,0021	0,0016	0,0015
	P (%)	0,09	1,69	0,88	0,19	1,57	0,12
	R^2	0,9999	0,9689	0,9934	0,9996	0,9864	0,9998

C + V (0,75mm e 15Hz)	σ_e	0,8579	0,8273	0,8141	0,8189	0,8173	0,7786
	A ₁	0,0889	0,1093	0,1204	0,1182	0,1227	0,1549
	A ₂	0,0502	0,0581	0,0607	0,0618	0,0592	0,0606
	A ₃	0,0010	0,0006	0,0013	0,0001	0,0009	0,0008
	$\tau_1(s)$	2,9602	2,3717	3,0418	2,6823	2,7701	3,3137
	$\tau_2(s)$	0,2775	0,3178	0,2932	0,2611	0,2604	0,2788
	$\tau_3(s)$	0,1681	0,1514	0,3131	0,1763	0,1580	0,1631
	SE	0,0010	0,01	0,01	0,0078	0,0143	0,0058
	P (%)	0,09	1,08	0,92	0,74	1,28	0,61
	R ²	0,9999	0,9893	0,9917	0,9961	0,9861	0,9880
C + V (0,75mm e 20Hz)	σ_e	0,8579	0,8190	0,8403	0,8068	0,7968	0,7538
	A ₁	0,0889	0,1174	0,0967	0,1256	0,1312	0,1429
	A ₂	0,0502	0,0594	0,0597	0,0630	0,0700	0,0713
	A ₃	0,0010	0,0004	0,0010	0,0001	0,0011	0,0009
	$\tau_1(s)$	2,9602	2,8229	2,6209	2,5614	2,9688	3,1231
	$\tau_2(s)$	0,2775	0,3050	0,2919	0,2343	0,3071	0,2821
	$\tau_3(s)$	0,1681	0,1310	0,1658	0,1710	0,2611	0,1919
	SE	0,0010	0,01	0,01	0,0230	0,0059	0,0125
	P (%)	0,09	0,65	0,70	0,50	0,62	1,24
	R ²	0,9999	0,9941	0,9956	0,9720	0,9974	0,9987
C + V (0,75mm e 25Hz)	σ_e	0,8579	0,8032	0,8324	0,7968	0,7847	0,7757
	A ₁	0,0889	0,1394	0,1018	0,1312	0,1431	0,1402
	A ₂	0,0502	0,0526	0,0644	0,0700	0,0663	0,0695
	A ₃	0,0010	0,0004	0,0008	0,0011	0,0001	0,0007
	$\tau_1(s)$	2,9602	3,9935	2,7855	2,9688	3,1847	2,9457
	$\tau_2(s)$	0,2775	0,3007	0,2867	0,3071	0,2780	0,3112
	$\tau_3(s)$	0,1681	0,1303	0,1720	0,2611	0,1689	0,1084
	SE	0,0010	0,02	0,01	0,0059	0,0138	0,0107
	P (%)	0,09	2,22	1,30	0,62	1,38	1,13
	R ²	0,9999	0,9592	0,9861	0,9974	0,9900	0,9974

C + V (1,25mm e 15Hz)	σ_e	0,8579	0,8043	0,8107	0,7797	0,7950	0,7265
	A ₁	0,0889	0,1408	0,1198	0,1479	0,1324	0,1936
	A ₂	0,0502	0,0485	0,0675	0,0664	0,0677	0,0733
	A ₃	0,0010	0,0006	0,0004	0,0009	0,0012	0,0004
	$\tau_1(s)$	2,9602	3,0723	3,7734	4,0384	2,6803	5,3371
	$\tau_2(s)$	0,2775	0,3163	0,3530	0,3408	0,2671	0,3836
	$\tau_3(s)$	0,1681	0,1301	0,1138	0,1669	0,2273	0,1207
	SE	0,0010	0,0100	0,02	0,0013	0,0288	0,0091
	P (%)	0,09	1,06	1,54	0,12	2,96	0,95
	R ²	0,9999	0,9925	0,9705	0,9999	0,9510	0,9958
C + V (1,25mm e 20Hz)	σ_e	0,8579	0,7956	0,7966	0,7740	0,7902	0,7240
	A ₁	0,0889	0,1351	0,1421	0,1561	0,1359	0,2045
	A ₂	0,0502	0,0627	0,0570	0,0662	0,0704	0,0684
	A ₃	0,0010	0,0004	0,0007	0,0005	0,0008	0,0008
	$\tau_1(s)$	2,9602	3,5772	3,2300	4,4911	3,5253	3,4824
	$\tau_2(s)$	0,2775	0,3872	0,3151	0,3705	0,3356	0,2659
	$\tau_3(s)$	0,1681	0,1684	0,1692	0,1683	0,1334	0,1676
	SE	0,0010	0,01	0,03	0,0092	0,0207	0,0236
	P (%)	0,09	1,32	2,81	0,91	2,04	2,23
	R ²	0,9999	0,9836	0,9598	0,9942	0,9792	0,9761
C + V (1,25mm e 25Hz)	σ_e	0,8579	0,7452	0,7797	0,7460	0,7559	0,6399
	A ₁	0,0889	0,1687	0,1537	0,1649	0,1679	0,0769
	A ₂	0,0502	0,0910	0,0640	0,0810	0,0708	0,2747
	A ₃	0,0010	0,0002	0,0004	0,0002	0,0010	0,0006
	$\tau_1(s)$	2,9602	6,2800	3,7614	6,5600	3,1248	8,2746
	$\tau_2(s)$	0,2775	0,7671	0,3057	0,5951	0,2921	0,4715
	$\tau_3(s)$	0,1681	0,1481	0,0943	0,1631	0,1679	0,1644
	SE	0,0010	0,0134	0,02	0,0246	0,0114	0,0220
	P (%)	0,09	2,298	1,78	1,98	1,14	2,08
	R ²	0,9999	0,9618	0,9803	0,9536	0,9937	0,9641

De acordo com os dados apresentados no Quadro 9, observa-se que no ajuste do modelo generalizado de Maxwell foram obtidos valores de coeficiente de determinação acima de 95 % para as condições de transporte simuladas. Verificou-se ainda que em todos os modelos foram observados valores de erro médio relativo abaixo de 10%. Os valores deste parâmetro indicam os desvios dos dados observados em relação à curva estimada pelo modelo (KASHANINEJAD et al., 2007). De acordo com Mohapatra e Rao (2005), valores inferiores a 10% são recomendadas para a seleção de modelos.

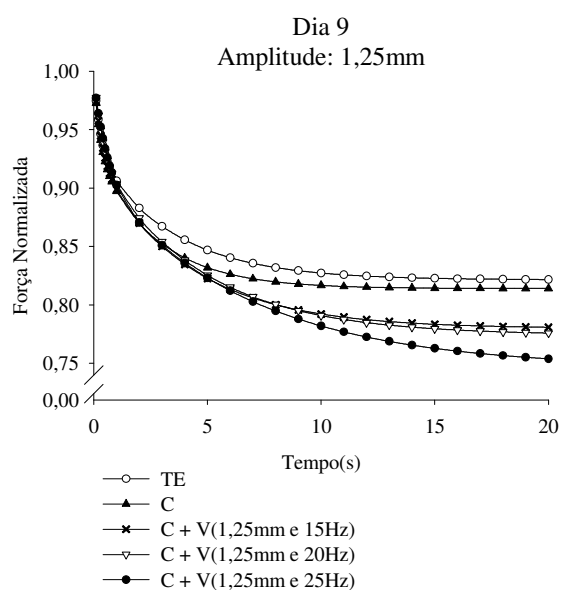
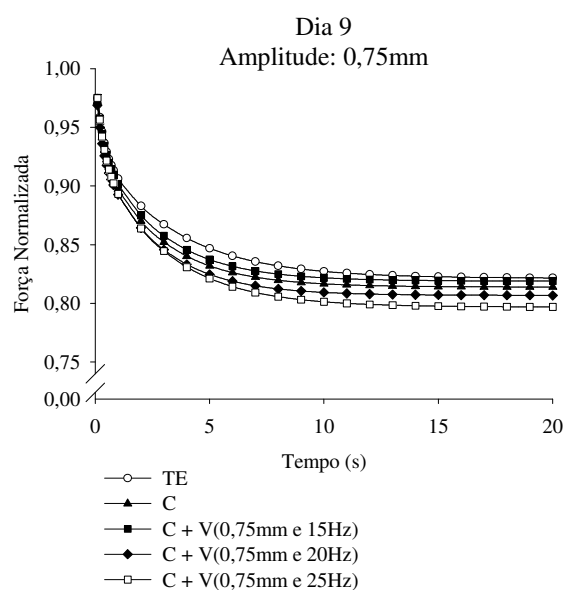
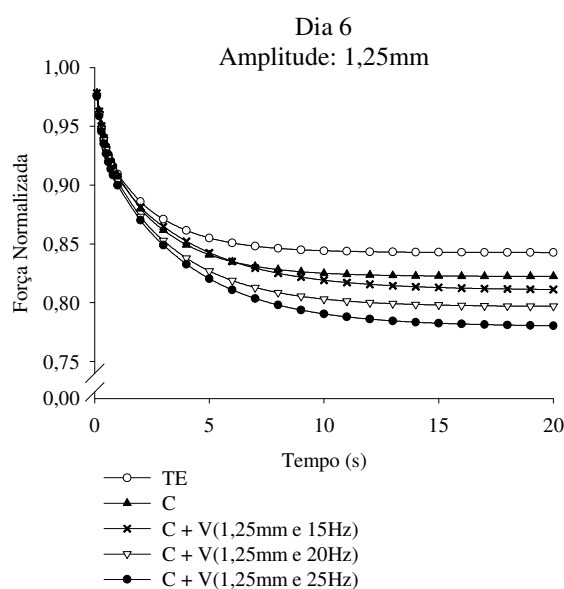
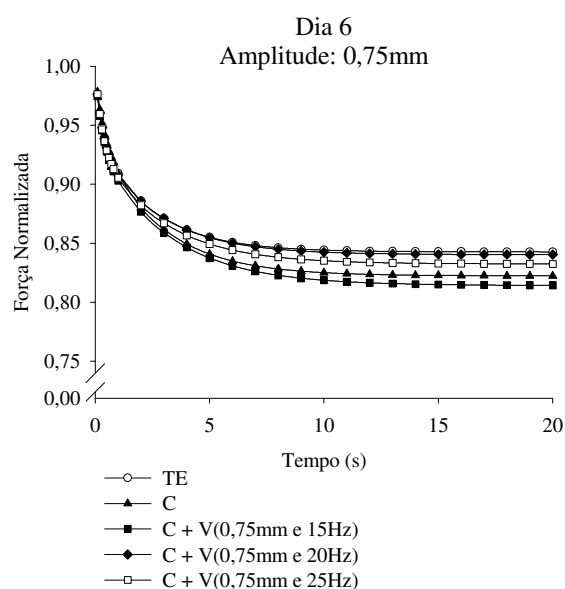
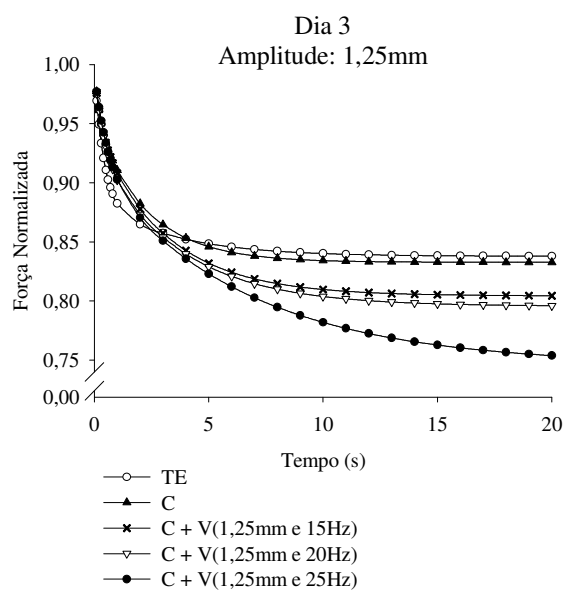
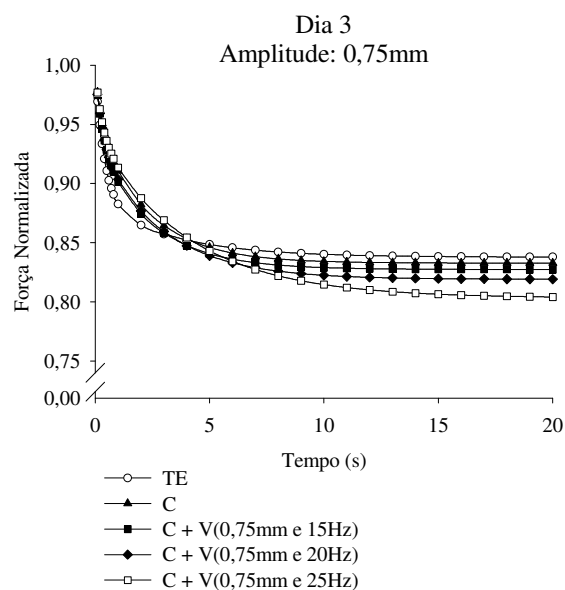
Além do coeficiente de determinação e do erro médio relativo, foi obtido também o desvio padrão da estimativa. De acordo com Draper e Smith (1998), a capacidade do modelo para descrever o processo satisfatório é inversamente proporcional aos valores deste parâmetro. Assim, os valores mais baixos de SE indicam uma maior qualidade do ajuste do modelo aos dados observados.

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; CAMPUS et al., 2010). Este fato demonstra a larga utilização deste modelo para o estudo das alterações viscoelásticas.

Pelos resultados apresentados no Quadro 9 pode-se observar que ao longo do tempo de armazenamento os frutos ficaram menos elásticos, uma vez que o parâmetro σ_e diminuiu para todos os tratamentos, e ele representa o componente elástico de maior magnitude do modelo generalizado de Maxwell (BELLIDO e HATCHER, 2009). Portanto, menores valores de σ_e denotam produtos de pior qualidade. A perda da elasticidade se deve ao fato dos tomates estarem, nos primeiros dias de armazenamento, mais firmes que os tomates dos dias posteriores, pois a cada dia os frutos estão mais maduros, com sua estrutura menos rígida, portanto com uma menor força normalizada.

Nota-se que a partir do dia 12 a queda do valor da força normalizada no equilíbrio (σ_e) foi mais pronunciada, principalmente, nos tomates submetidos a vibração na amplitude de 1,25mm nos três níveis de frequência, apresentando os valores de σ_e iguais a 0,7265, 0,7240 e 0,6399 para as frequências de 15, 20 e 25Hz respectivamente. Já os demais tratamentos obtiveram valores de σ_e na faixa de 0,77.

Na Figura 11 estão representadas as curvas de relaxação obtidas pelos valores estimados pelo modelo generalizado de Maxwell, dos tomates ao longo do armazenamento, em todas as condições de transporte simuladas. Cada curva do gráfico representa a curva de relaxação de cada tratamento.



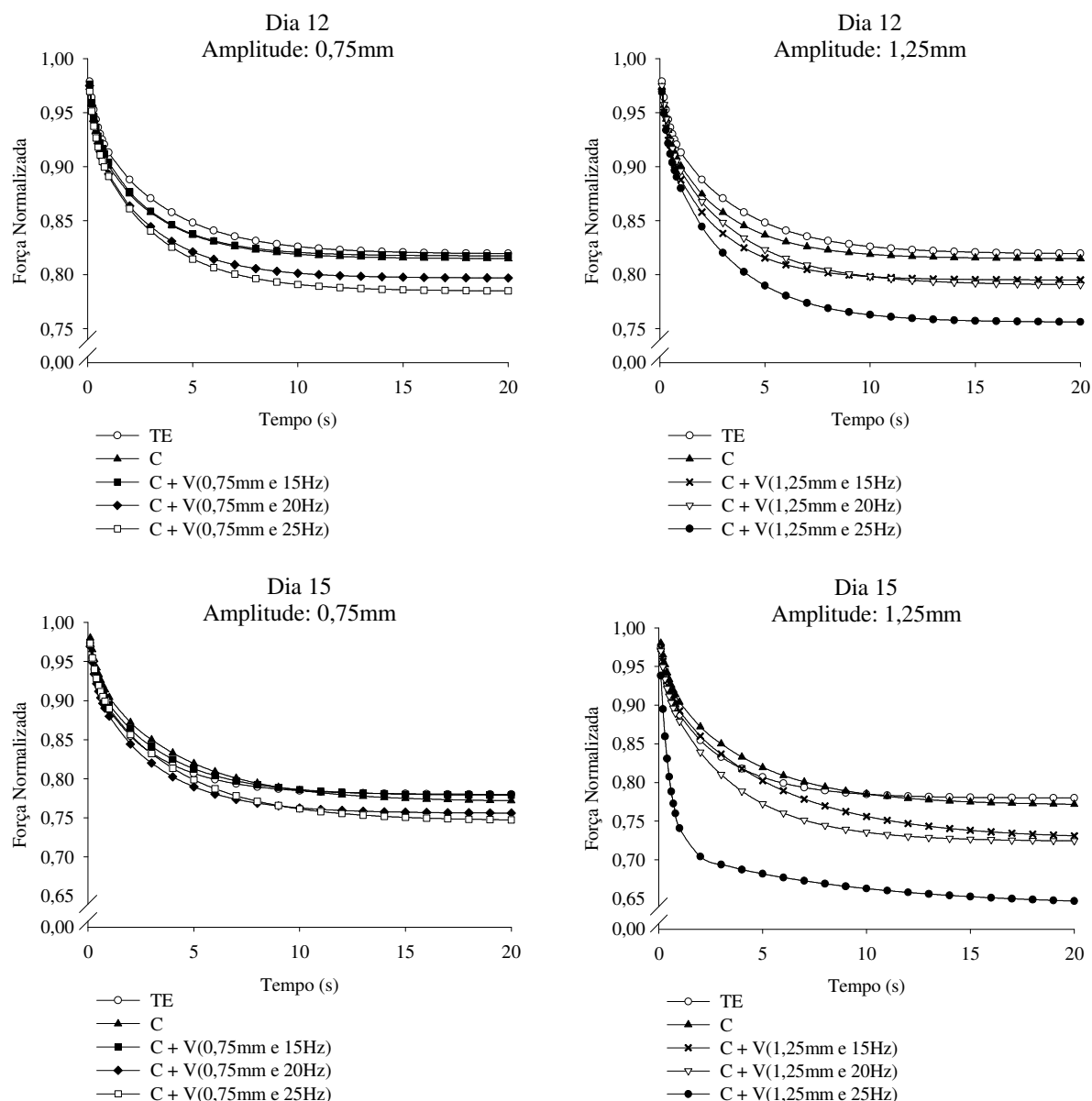


Figura 11. Curvas de relaxação obtidas pelos valores estimados pelo modelo generalizado de Maxwell, dos tomates submetidos a todas as condições de transporte simuladas, ao longo dos dias de armazenamento.

Observa-se que para todos os tempos de armazenamento (dias 3, 6, 9, 12 e 15) na amplitude de 0,75mm, as curvas dos tratamentos se mantiveram muito próximas umas das outras, com pouca dispersão entre elas, principalmente entre os tratamentos testemunha, compressão e quando se utilizou a compressão associada a vibração com a frequência de 15 Hz. Isso significa que houve pouca diferença no tempo para decair certa quantidade da força inicial entre esses tratamentos.

A Figura 12 exemplifica a diferença do tempo para atingir determinada força normalizada. Ao fixar o dia 12, os tomates do tratamento testemunha demoraram 5s

para atingir a força normalizada de 0,85, enquanto que os demais tratamentos atingiram em um tempo menor, sendo que os tomates dos tratamentos compressão e compressão e vibração com 15Hz atingiram a força praticamente ao mesmo tempo e os frutos submetidos a frequência de 25Hz atingiram na metade do tempo que o testemunha.

Além do menor tempo para atingir determinada força normalizada, o tratamento que simulou a compressão associada a vibração com amplitude de 0,75mm na frequência de 25Hz apresentou os valores de força normalizada mais baixos que os demais ao final dos 20s do teste de relaxação.

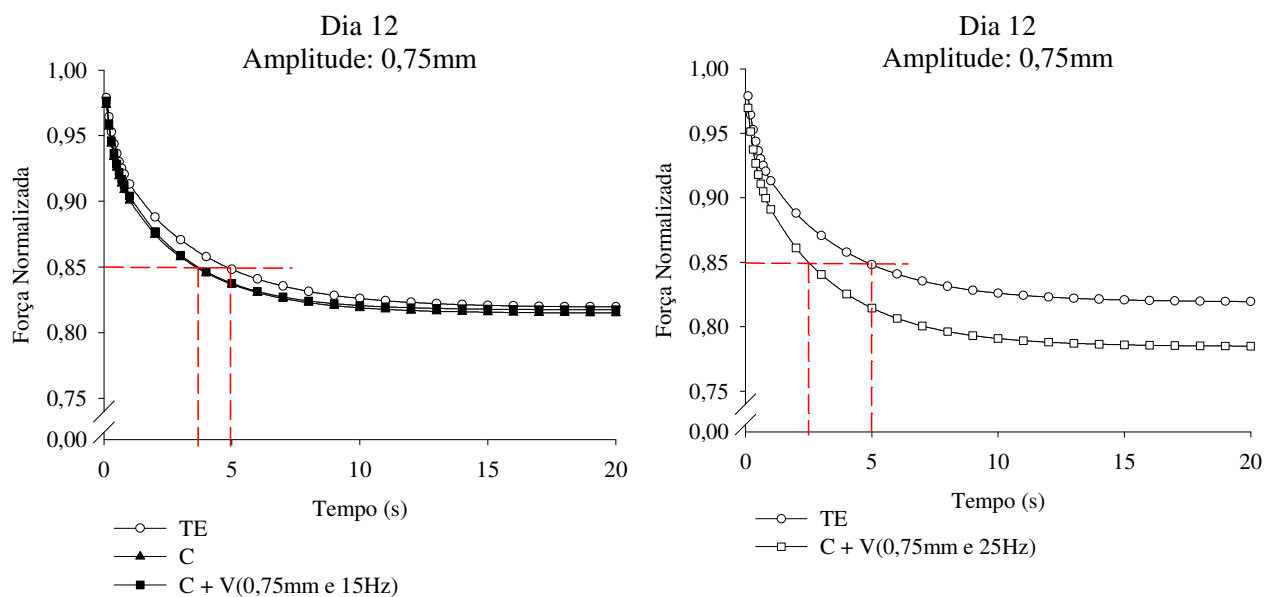


Figura 12. Curvas de relaxação no dia 12 na amplitude de 0,75mm.

Para os frutos que foram submetidos à vibração na amplitude de 1,25mm observou-se que ocorreu maior dispersão entre as curvas de relaxação dos tratamentos, para todos os dias avaliados (Figura 13). O decaimento da força inicial foi mais acentuado, com a força normalizada atingindo valores inferiores aos da amplitude de 0,75 mm, sendo que o tratamento que associou compressão e vibração na frequência de 25Hz foi o que atingiu os menores valores, em relação tanto aos frutos que sofreram vibração na amplitude de 1,25mm quanto na amplitude de 0,75mm, indicando assim que a influência da amplitude foi maior que a influência da frequência de vibração.

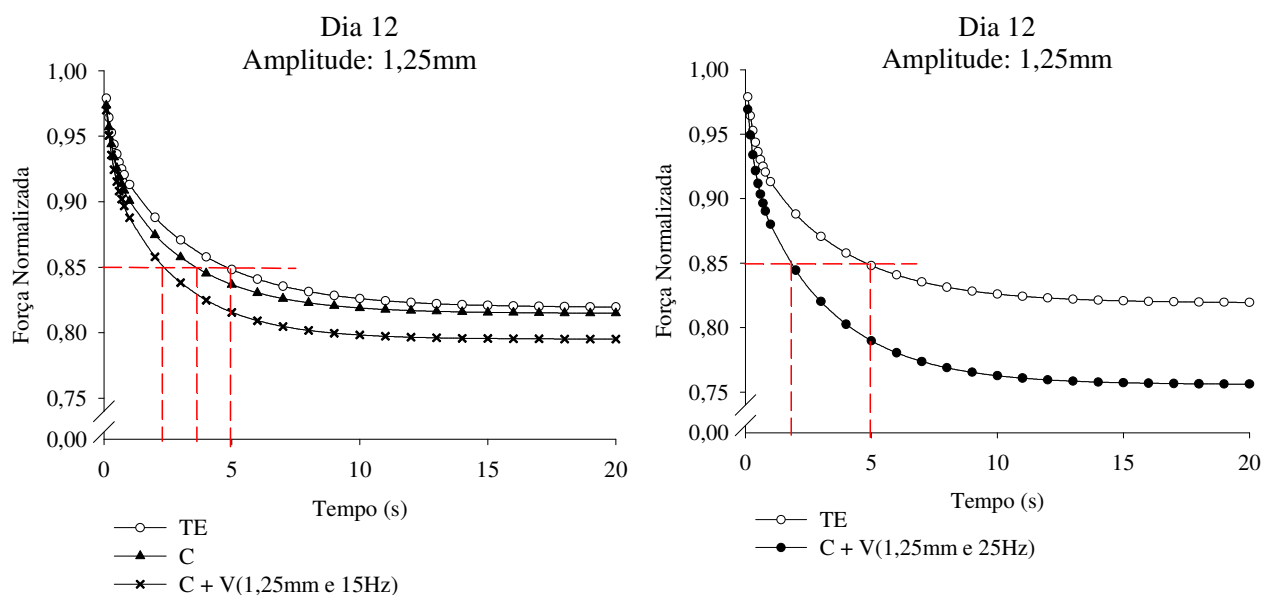


Figura 13. Curvas de relaxação no dia 12 na amplitude de 1,25mm.

Os testes de relaxação são dependentes da composição do produto analisado e do estágio de maturação dos frutos. Comparando as curvas já apresentadas na Figura 11 com as curvas de relaxação da Figura 14 a seguir, observa-se que os tomates se comportaram como um material sólido viscoelástico, significando que sofreram, simultaneamente, deformações elásticas e viscosas durante a compressão. Dessa forma, por serem viscoelásticos, os frutos podem, teoricamente, retornar a sua conformação inicial após sofrerem pequenas deformações.

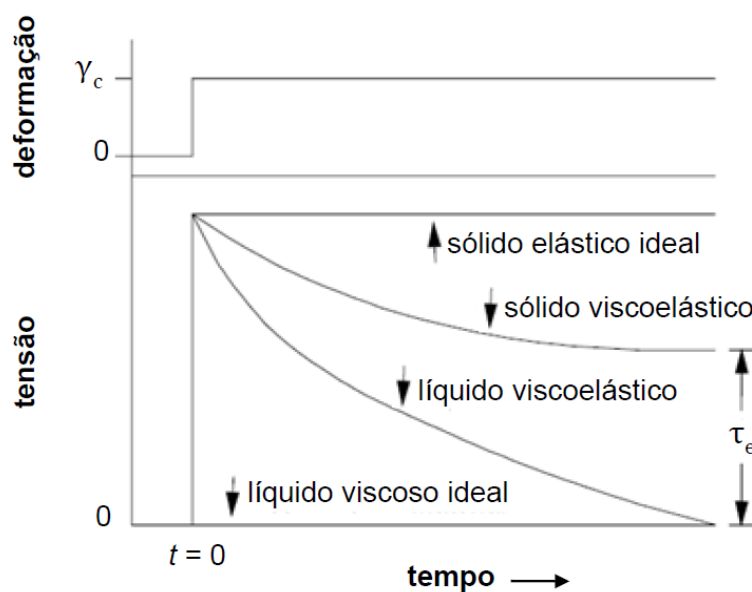


Figura 14. Curvas de tensão e relaxação. Fonte: Adaptado de Steffe, 1996.

6. CONCLUSÃO

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

- A compressão aplicada foi insuficiente para causar efeito negativo nas propriedades físico-químicas e texturais dos frutos, não diferindo dos frutos testemunha em nenhuma análise;
- A exposição a vibrações mecânicas acelerou o amadurecimento e intensificou os danos mecânicos dos frutos;
- O amadurecimento dos tomates pôde ser analisado por meio da cor da periderme avaliada pelas coordenadas L^* e a^* e pelos índices colorimétricos croma, ângulo hue e diferença total de cor;
- Independente da frequência de excitação o fator amplitude teve maior influência no amadurecimento dos frutos;
- Independente do nível de amplitude a frequência de vibração teve maior influência no índice colorimétrico croma;
- Os frutos dos tratamentos submetidos à amplitude de 1,25 mm diferiram dos frutos testemunha para as variáveis pH e acidez total titulável;
- As variáveis sólidos solúveis totais, força de punção, força de compressão e módulo proporcional de deformidade dos tratamentos não diferiram em relação à testemunha;
- Os frutos testemunha obtiveram menores valores de perda de massa durante o armazenamento, sendo considerados comercializáveis até o 9º dia de armazenamento. Já os tomates submetidos à compressão e vibração na

amplitude de 1,25mm foram os com maior taxa de perda de massa sendo considerados comercializáveis até o 7º dia de armazenamento;

- O teor de licopeno teve um incremento ao longo do experimento, sendo observado efeito da vibração quando utilizado a frequência de 25Hz nos dois níveis de amplitude;
- 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;
- Nos tomates submetidos à amplitude de 1,25mm foram observados menores valores de força normalizada nos 3 níveis de frequência, sendo portanto menos elásticos que os frutos dos demais tratamentos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACICAN, T.; ALIBAS, K. Mechanical damage to apples during transport in wooden crates. **Biosystems Engineering, Amsterdam**, v. 96, n. 2, p. 239–248, 2007.

AJAVI. A. A; OLASEHINDE. I. G. Studies on the pH and protein content of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) fruits deteriorated by *Aspergillus niger*. **Scientific Research and Essays**. v.4 n.3. pp. 185-187 (2009).

ALMEIDA, D. **Manuseamento de produtos hortofrutícolas**. 1ª.ed. Porto: SPI, 111p. 2005.

ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e em hidroponia**. Lavras: UFLA, 2004. 400 p.

AMORIM, L.; MARTINS, M. C.; LOURENÇO, S. A.; GUTIERREZ, A. S. D.; ABREU, F. M.; GONÇALVES, F. P. Stone fruit injuries and damage at the wholesale market of São Paulo. **Postharvest Biology and Technology**, v. 47, p. 353-357. 2008.

ARAB, L.; STECK, S. Lycopene and cardiovascular disease. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v.71, n6, p.1691-5, 2000.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC international**. AOAC International, 1997.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of AOAC international**. AOAC International, 2002.

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

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.; VILLETIAZ, 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.

BATISTA, C. S.; COUTO, S. M.; CECON, P. R.; PEIXOTO, A. B. Efeito da temperatura do ar de secagem, do teor de umidade e do estágio de maturação no módulo de deformidade de frutos de café (*Coffea arabica* L.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa-MG, v. Especial café, n. 6, p. 42-53, 2003.

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, p. 29–36. 2009.

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.

BORGUINI, R. G.; TORRES, E. A. F. D. Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxidants. **Food Research International**, Amsterdam, v. 25, n. 4, p. 313-325, 2009.

BORGUINI, R. G.; SILVA, M. V. Características físico-químicas e sensoriais do tomate (*Lycopersicon esculentum*) produzido por cultivo orgânico em comparação ao convencional. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara v.16, n.4, p.355-361, out./dez., 2005.

BORGUINI, R. G.; SILVA, M. V. O conteúdo nutricional de tomates obtidos por cultivo orgânico e convencional. **Revista Higiene Alimentar**. 45: 41-46. 2007.

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

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

CAMPUS, M.; ADDIS, M.F.; CAPPUCCINELLI, 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.

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.

CERQUEIRA-PEREIRA, E. C. **Caracterização e comparação de sistemas de embalagem e transporte de mamão “solo” destinado ao mercado nacional**. 2009. 116 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

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, p.476–484. 2007.

CHITARRA, M. I. F; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2ª. ed. Lavras: UFLA, 2005. 783p.

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-methylcyclopropene. **Postharvest Biology and Technology**, v. 48, n. 2, p. 206 – 214, 2008.

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.

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, p. 978–983. 2007.

DESMET, M.; LAMMERTYNA, J.; VAN LINDEN, V.; VERLINDEN, B. E.; DARIUS, P.; NICOLAI, 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. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1998.

DURIGAN, M. F. B.; MATTIUZ, B. H. Efeito de injúrias mecânicas na qualidade de abobrinhas armazenadas em condição ambiente. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, p. 291-295, 2007 a.

DURIGAN, M. F. B.; MATTIUZ, B. H. Injúrias mecânicas e seus efeitos na qualidade de melancias armazenadas em condição ambiente. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.25, p. 296-300, 2007 b.

ELLINGER, S.; ELLINGER, J.; STEHLE, P. Tomatoes, tomato products and lycopene in the prevention and treatment of prostate cancer: do we have the evidence from intervention studies? *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*, London, v. 9, n. 6, p. 722-727, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistemas de Produção: Cultivo de tomate para industrialização**. Versão eletrônica. Disponível em:

<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/importancia.htm> Acesso: 07 jul. 2015.

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.

FAO - Food and Agricultural Organization of the United Nations. **FAOSTAT: base de dados**. 2013. Disponível em: < <http://faostat3.fao.org/download/Q/QC/E> >. Acesso em: 07 jul. 2015.

FERREIRA, M. D.; FRANCO, ANDRE, T. O.; NOGUEIRA, M. F. M.; ALMEIDA, R. V. C.; TAVARES, M. Avaliação da Etapa da Colheita em Tomates de Mesa cv. Débora. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.7, n.2, p.173-178, jul/dez.,2004.

FERREIRA, M. D.; CAMARGO, G. G. de T.; ANDREUCCETTI, C.; MORETTI, C. L. Determinação em tempo real da magnitude de danos físicos por impacto em linhas de beneficiamento e em condições de laboratório e seus efeitos na qualidade de tomate. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 630-641. 2009.

FERREIRA, S. M. R.; QUADROS, D. A.; KARKLE, E. N. L.; LIMA, J. J.; TULLIO, L. T.; FREITAS, R. J. S. Qualidade pós-colheita do tomate de mesa convencional e orgânico. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 30, p. 858-864, 2010.

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.

FISCHER, I. H.; LOURENÇO, S. A.; AMORIM, L. Doenças pós-colheita em citros e caracterização da população fúngica ambiental no mercado atacadista de São Paulo. **Tropical Plant Pathology**, v. 33, p. 219-226. 2008.

FOSCACHES, C. A. L.; SPROESSER, R. L.; QUEVEDO-SILVA, F.; LIMA-FILHO, D. O. Logística de frutas, legumes e verduras (FLV): um estudo sobre embalagem, armazenagem e transporte em pequenas cidades brasileiras. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 42, n. 2, p. 37-46. 2012.

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, 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.

GIORDANO, L. B. de; RIBEIRO, C. S. C. Origem. Botânica e Composição Química do fruto. In: **Tomate para processamento industrial**. Brasília: Embrapa / Comunicação para Transferência de Tecnologia / (Embrapa Hortaliças). p.12-17. 2000.

GODOY, A. E.; JACOMINO, A. P.; CERQUEIRA-PEREIRA, E. C.; GUTIERREZ, A. S. D.; VIEIRA, C. E. M.; FORATO, L. A. Injúrias mecânicas e seus efeitos na qualidade de mamões Golden. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 32, n. 3, p. 682-691, 2010.

GOULD, W. A. **Tomato Production, Processing & Technology**; 3ed.; CTI Pub. Inc.; Baltimore, 1992.

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.

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.

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.

IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e produção**. 2^a.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005. 420p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. 2015. Disponível em <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/lspa_201501.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/lspa_201501.pdf)>. Acesso em: 07 jul. 2015.

JARIMOPAS, B.; SINGH, S. P.; SAENGNI, W. Measurement and analysis of truck transport vibration levels and damage to packaged tangerines during transit. **Packaging Technology and Science**, v. 18, p. 179-188, 2005.

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.

KASAT, G. F.; MATTIUZ, B. H.; OGASSAVARA, F. O.; BIANCO, M. S.; MORGADO, C. M. A.; CUNHA JÚNIOR, L. C. Injúrias mecânicas e seus efeitos em pêssegos “Aurora 1”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p. 318-322. 2007.

KASHANINEJAD, M., MORTAZAVI A.; SAFEKORDI, A.; TABIL, L. G. Thin-layer drying characteristics and modeling of pistachio nuts. **Journal of Food Engineering**, v.78, n.1, 98-108, 2007.

KAYS, S.J. Postharvest physiology of perishable plant products. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 532 p.

LACERDA, F. C. **Efeitos das acelerações e frequências durante o transporte do figo ‘roxo de valinhos’**. 2004. 80p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

LEITE, G. A.; MEDEIROS, E. V.; MENDONÇA, V.; MORAES, P. L. D.; LIMA, L. M.; XAVIER, I. F. Qualidade pós-colheita da banana “Pacovan” comercializada em diferentes estabelecimentos no município de Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.5, n.3, p.322-327, 2010.

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.

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.

LUENGO, R. F. A. **Dimensionamento de embalagens para comercialização de hortaliças e frutas no Brasil**. 2005. 75p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

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, 513-518, 2005.

MOHSENIN, N. N. **Physical properties of plant and animal materials: structure, physical characteristics and mechanical properties**. 2^a ed., New York: Gordon and Breach, 1986. 891p.

MONTEIRO, C. S.; BALBI, M. E.; MIGUEL, O. G.; PENTEADO, P. T. P. S.; HARACEMIV, S. M. C. Qualidade nutricional e antioxidante do tomate “tipo italiano”. *Alimentos e Nutrição*, Araraquara v.19, n.1, p. 25-31, 2008.

MOURA, L. M.; FINGER, F. L.; MIZOBUTSI, G. P.; GALVÃO, H. L. Fisiologia do amadurecimento na planta do tomate “santa clara” e do mutante “firme”. *Horticultura Brasileira*. v.23 n.1 Brasília Jan./Mar. 2005.

NASCIMENTO, A. R.; SOARES JÚNIOR, M. S.; CALIARI, M.; FERNANDES, P. M.; RODRIGUES, J. P. M.; CARVALHO, W. T. Qualidade de tomates de mesa cultivados em sistema orgânico e convencional no estado de Goiás. *Horticultura Brasileira*, v. 31, n. 4, p. 628-635. 2013.

OLIVEIRA, G. H. H. **Características físico-químicas do tomate submetido a esforço controlado de compressão**. 2010. 96 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010a.

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, 2010b.

OLIVEIRA, G. H. H.; CORRÊA, P. C.; FINGER, F. L.; FREITAS, R. F.; VASCONCELLOS, D. S. L. Color and other quality aspects of tomato fruits subjected to a short period of induced compression. *Acta Horticulturae*, 934, 1205-1211, 2012.

OLIVEIRA, G. H. H.; CORRÊA, P. C; BOTELHO, F. M.; OLIVEIRA, A. P. L. R. Mechanical properties of tomatoes subjected to an induced compression during storage. **Journal of Texture Studies**, v. 46, p. 293-310, 2015.

PAPAS, A. M. Diet and antioxidant status. **Food and Chemical Toxicology**, v.37, p.999-1007, 1999.

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.

RAUPP, D. S.; GARDINO, J. R.; SCHEBESKI, L. S.; AMADEU, C. A.; BORSATO, A. V. Processamento de tomate seco de diferentes cultivares. **Acta Amazonica**. v.39 n.2 Manaus, 2009.

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.

RESENDE, O.; CORRÊA, P. C.; RIBEIRO, D. M.; NETO FIGUEIREDO, A. Comportamento mecânico dos grãos de feijão submetidos a compressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande – PB, v. 11, n. 4, p. 404–409, 2007.

RIBEIRO, D. M.; CORRÊA, P. C.; FURTADO, B. F.; GONELI, A. L. D.; RESENDE, O. Propriedades mecânicas dos grãos de soja em função do teor de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 2, p. 493-500, 2007.

ROCHA, M. C.; GOLÇALVES, L. S. A.; SOARES, A. G.; CARMO, M. G. F. Caracterização física, físico-química e bioquímica de 12 acessos de tomateiro do grupo cereja produzidos sob manejo orgânico. **Horticultura brasileira**, v. 27, n. 2, 2009.

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

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.

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.

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.

SANCHES, J.; DURIGAN, J. F.; DURIGAN, M. F. B. Aplicação de danos mecânicos em abacates e seus efeitos na qualidade dos frutos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.164-175, 2008.

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.

SEGATORI, A.; DI MASI, S; GOMILLA, T. **Daño mecánico por golpe em manzanas**. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Projeto Nacional n° 52-535, 2006.

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.

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.

SOUSA, A. A.; GRIGIO, M. L.; NASCIMENTO, C. R.; SILVA, A. C. D.; REGO, E. R.; REGO, M. M. Caracterização química e física de frutos de diferentes acessos de tomateiro em casa de vegetação. **Revista Agroambiente**, v.5, n.2, p. 113-118, 2011.

SOUSA, F. A.; ROCHA, R. H. C.; SILVA, H. S. Manga “Tommy Atkins” submetida a injúrias mecânicas pós-colheita. **Revista Verde**, Mossoró, v. 8, n. 5, p. 14-21. 2013.

SPEISKY, H. C.; JIMÉNEZ, I. T. Radicales libres y antioxidants en la prevención de enfermedades III: evidencias clínico epidemiológicas de los riesgos y beneficios asociados al consumo de antioxidantes em la prevención de enfermedades cardiovasculares. **Revista chilena de nutrición**, v.27, n.3, p.314-25, 2000.

STEFFE, J. F. Rheological methods in food process engineering. Michigan: Freeman Press, 1996.

SU, K.; ROWLEY, K. G.; BALAZS, D. N. H. Carotenoids: separation methods applicable to biological samples. The Journal of Chromatography B, v.781, p.393-418, 2002.

TEZZOTO, J. V.; JACOMINO, A. P.; GODOY, A. E.; CERQUEIRA-PEREIRA, E. C.; GALLON, C. Z. Efeito do corte como dano mecânico na qualidade e na fisiologia de mamões “Golden”. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, volume especial, p. 241-247. 2011.

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

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.

VERSAVUS, K.; ÖZGÜVEN, F. Determining the effects of vibration parameters and packaging method on mechanical damage in ‘Golden Delicious’ apples. **Turkish Journal of Agriculture and Forestry**, v. 2, p. 311-320, 2004.

VIGNEAULT, C.; CORTEZ, L. A. Embalagem para frutas e hortaliças. In: CORTEZ, L. A.; HONORIO, S.; MORETTI, C. L. (Ed). **Resfriamento de Frutas e Hortaliças**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 95-119, 2002.

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

WILLS, R.; McGLASSON, B.; GRAHAM, D.; JOYCE, D. **Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals**. New York: CAB International, 1998. 262p.

ZHOU, R.; SU, S.; YAN, L.; LI, Y. Effect of transport vibration levels on mechanical damage and physiological responses of ‘Huanghua’ pears (*Pyrus pyrifolia* Nakai, cv. Huanghua). **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 46, p. 20–28, 2007.