

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA

DISSERTAÇÃO

**Aplicação pós-colheita de giberelina e etileno e seu efeito no
despencamento e parâmetros de qualidade de tomate italiano em
cacho**

Diego Dias Rafael



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**Aplicação pós-colheita de giberelina e etileno e seu efeito no
despencamento e parâmetros de qualidade de tomate italiano em cacho**

DIEGO DIAS RAFAEL

Sob Orientação da Professora

Regina Celi Cavestré Coneglian

e Coorientação do Pesquisador

Marcos José de Oliveira Fonseca

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Curso de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia.

Seropédica, RJ

Agosto de 2018

R136a Rafael, Diego Dias, 1990-
Aplicação pós-colheita de giberelina e etileno e seu efeito no despencamento e parâmetros de qualidade de tomate italiano em cacho / Diego Dias Rafael. - 2018. 76 f.: il.

Orientadora: Regina Celi Cavestré Coneglian.
Coorientador: Marcos José de Oliveira Fonseca.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Fitotecnia, 2018.

1. Solanum lycopersicum L.. 2. zona de abscisão. 3. balanço hormonal. I. Coneglian, Regina Celi Cavestré, 1964-, orient. II. Fonseca, Marcos José de Oliveira, 1967-, coorient. III Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Fitotecnia. IV. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – FITOTECNIA**

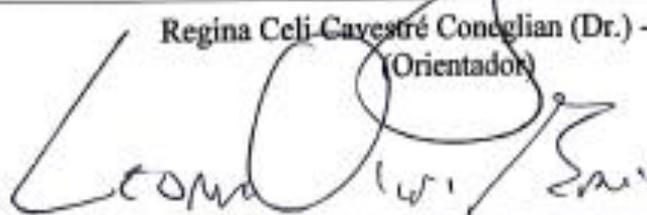
DIEGO DIAS RAFAEL

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, no Curso de Pós-Graduação em Fitotecnia.

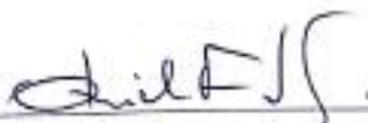
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 31/08/2018.



Regina Celi Cavestré Coneglian (Dr.) - UFRRJ
(Orientador)



Leonardo de Oliveira Médici (PhD.) – UFRRJ



Otniel Freitas Silva (Dr.) – Embrapa Agroindústria de Alimentos

DEDICATÓRIAS

Aos meus pais, Sandra e Gilmar,
pelo apoio em toda minha vida.

À minha família e amigos.

Ao Anderson,
meu maior incentivador.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, meu irmão e à toda minha família por todo incentivo em minha vida.

Ao Anderson, por ser meu maior incentivador e acreditar no meu potencial mesmo quando eu não acreditava.

Aos meus orientadores, Regina e Marcos, pelos conselhos e ensinamentos durante o decorrer de todo o trabalho.

Aos amigos e colegas de profissão, com quem dividi e recebi conhecimento, tornando essa tarefa mais prazerosa.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela minha formação e todo aprendizado técnico.

Ao programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, aos professores e funcionários, por todo o ensinamento e troca de experiências.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos pela oportunidade, pelo projeto e pela infraestrutura, sem a qual não seria possível realização da pesquisa. Agradecimento especial ao pesquisador Antônio Gomes, à analista Henriqueta e aos técnicos Caetano, Érika e Sr. Marco.

À Embrapa Agrobiologia, em especial ao pesquisador Luc Rouws e à analista Karine Freitas, por todo auxílio e disponibilidade para a realização das análises de microscopia ótica.

À FAPERJ, pela concessão da bolsa de pesquisa.

RESUMO

RAFAEL, Diego Dias. **Aplicação pós-colheita de giberelina e etileno e seu efeito no despencamento e parâmetros de qualidade em tomate italiano.** 2018. 73p Dissertação (Mestrado em Agronomia, Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

O presente trabalho objetivou avaliar a influência da aplicação pós-colheita de ácido giberélico (GA_3) e a combinação de GA_3 e etileno em tomates italianos cv. BRS Nagai cultivados sob sistema TOMATEC, visando a comercialização dos frutos no cacho. Foram avaliados parâmetros físico-químicos, processo de abscisão, atividade enzimática na região de abscisão dos frutos e avaliação da formação da zona de abscisão (ZA) por microscopia ótica em cachos de tomate durante o período de armazenamento. O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) difundiu-se por todo o mundo, ocupando lugar de destaque entre os produtos hortícolas. O processo de abscisão é definido pela separação de células no material vegetal sendo regulada pelo balanço hormonal na região de abscisão, regulando a atividade de enzimas hidrolíticas como a pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG), responsáveis por alterações em componentes da parede celular. Foi verificada a influência do etileno como favorecedor do processo de abscisão enquanto que a giberelina vem sendo amplamente estudada com a finalidade de aumentar a fixação de frutos em diversas culturas. Devido à escassez de trabalhos com aplicação pós-colheita de ácido giberélico (GA_3), em frutos de tomateiro, realizou-se o experimento 1 para verificação do comportamento dos frutos em função do tratamento empregado. Cachos de tomate cv. BRS Nagai foram colhidos no estágio verde maduro, contendo de 3 a 7 frutos por cacho, e foram tratados com 90 mg.L^{-1} de GA_3 por borrifação direcionada para região de abscisão do fruto, sendo armazenados em condições ambiente ($24^\circ \pm 3^\circ\text{C}$ e $75 \pm 4\%$ UR) durante 15 dias. Não observou interação significativa entre tratamento e período de armazenamento para nenhuma característica avaliada. Para o experimento 2 foram colhidos cachos padronizados com 4 frutos, no estágio verde maduro. Realizou-se a aplicação de 90 mg.L^{-1} de GA_3 , via imersão total dos cachos, durante 2 minutos, imediatamente após a colheita e armazenados sob condição ambiente ($24^\circ \pm 3^\circ\text{C}$ $75 \pm 4\%$ UR). O tratamento com etileno foi realizado no primeiro dia de armazenamento com aplicação de 150 mL.L^{-1} durante 24 horas, à temperatura de $24^\circ \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $95 \pm 5\%$. Os

resultados apresentaram interação significativa entre os tratamentos e o período avaliado para as características de firmeza instrumental (N), resistência ao despençamento (N), cor - em função da coordenada de cromaticidade a^* e pH. Para avaliação da formação da zona de abscisão, foram colhidos cachos padronizados com 3 frutos por cacho e tratados da mesma maneira conforme descrito para o experimento 2. A ZA foi avaliada por microscopia ótica aos 2, 12 e 19 dias de armazenamento. As imagens obtidas possibilitam observar a influência do etileno como favorecedor da formação da ZA e o processo de abscisão enquanto que o GA₃ retardou a formação da mesma, retardando o processo de abscisão.

Palavras-chave: *Solanum lycopersicum* L., zona de abscisão, balanço hormonal.

ABSTRACT

RAFAEL, Diego Dias. **Gibberellin and ethylene postharvest application and its effects on fruit dropping and quality parameters of Italian tomato**. 2018. 73p Dissertation (Master's degree in Agronomy, Plant Science). Agronomy Institute, Plant Science Department, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

The present work aimed to evaluate the influence of the post-harvest application of gibberellic acid (GA3) and the combination of GA3 and ethylene on Italian tomatoes cv. BRS Nagai cultivated in TOMATEC system, aiming the commercialization of the fruits in the bunch. Physicochemical parameters, abscission process, enzymatic activity in the region of fruit abscission and evaluation of the formation of abscission zone (AZ) by optical microscopy in tomato bunches during the storage period were evaluated. The tomato plant (*Solanum lycopersicum* L.) has spread all over the world, occupying a prominent place among vegetable products. The abscission process is defined by the separation of cells in the plant material being regulated by the hormonal balance in the region of abscission, regulating the activity of hydrolytic enzymes such as pectinamethylesterase (PME) and polygalacturonase (PG), responsible for changes in cell wall components. The influence of ethylene as an aid to the abscission process was verified while gibberellin has been extensively studied in order to increase the fixation of fruits in different crops. Due to the lack of studies with post-harvest application of gibberellic acid (GA3) in tomato fruits, experiment 1 was carried out to verify fruit behavior towards the treatment applied. Bunches of tomato cv. BRS Nagai were harvested at the mature green stage, containing 3 to 7 fruits per cluster, then they were treated with 90 mg.L⁻¹ GA3 by directed spray application to the region of fruit abscission and stored at ambient conditions (24 ± 3°C and 75 ± 4% RH) for 15 days. No significant interaction between treatment and storage period was observed for any of the evaluated characteristics. For the experiment 2, bunches were harvested in the mature green stage, with 4 fruits per cluster. 90 mg.L⁻¹ of GA3 were applied by fully immersing the clusters for 2 minutes immediately after harvest and stored at ambient conditions (24 ± 3 ° C ± 4.5% RH). The ethylene treatment was carried out on the first day of storage with application of 150 mL.L⁻¹ for 24 hours at a temperature of 24 ± 2 ° C and relative humidity of 95 ± 5%. The results presented significant interaction between the treatments and the period evaluated for the characteristics of instrumental firmness (N), dropping resistance (N), color parameters as coordinate of chromaticity a* and pH. To evaluate the formation of the abscission zone, standard bunches with 3 fruits per cluster were collected and treated in the same manner as described in the main experiment. The AZ was evaluated by optical microscopy on the 2nd, 12th and 19th days of storage. The obtained images make it possible to verify the influence of ethylene as favoring the formation of AZ and the process of abscission whereas GA3 delayed the formation of the same, retarding the process of abscission.

Key-words: *Solanum lycopersicum* L., abscission zone, hormonal balance.

LISTA DE ABREVIACOES

ABA	cido abscísico;
ACC	aminociclopropanocarboxlico;
AIA	cido indolacético;
ATT	acidez total titulável;
DNS	cido 3,5-dinitrosalicílico;
GA ₃	cido giberélico;
MCP	morte celular programada;
MIP	manejo integrado de pragas;
NaCl	cloreto de sódio;
NaOH	hidróxido de sódio;
PG	poligalacturonase;
pH	potencial hidrogeniônico;
PME	pectinametilesterase;
PMF	perda de massa fresca;
SAM	s-adenosilmetionina;
SST	sólidos solúveis totais;
SST/ATT	relação sólidos solúveis totais/acidez total titulável;
ZA	zona de abscisão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cachos de tomate na planta cv. BRS Nagai cultivado sob sistema TOMATEC.....	3
Figura 2. Modo de ação da pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG) sobre uma molécula de pectina.....	13
Figura 3. Linhas de plantio de tomate sob sistema TOMATEC em campo aberto. Tanguá – RJ.....	16
Figura 4. Linhas de plantio de tomate em cultivo protegido sob sistema TOMATEC. Nova Friburgo – RJ.....	17
Figura 5. Corte de aproximadamente 2mm da camada de abscisão de frutos de tomateiro no cacho para determinação da atividade enzimática na região.....	20
Figura 6. Estrutura em “gaiola” montada para verificação do despencamento natural de frutos de tomate no cacho durante 12 dias de armazenamento.....	21
Figura 7. Despencador adaptado de Cerqueira (2000). Penetrômetro mede a força necessária para causar a ruptura da camada de abscisão.....	22
Figura 8. Corte longitudinal da região entre o pedúnculo e o pericarpo para verificação da zona de abscisão por microscopia ótica em tomate cv. BRS Nagai armazenado em cacho durante 19 dias. (A1) controle - 2 dias de armazenamento; (A2) controle - 12 dias de armazenamento; (A3) controle - 19 dias de armazenamento; (B1) GA3 - 2 dias de armazenamento; (B2) GA3 - 12 dias de armazenamento; (B3) GA3 - 19 dias de armazenamento; (C1) GA3 + Etileno - 2 dias de armazenamento; (C2) GA3 + Etileno - 12 dias de armazenamento; (C3) GA3 + Etileno - 19 dias de armazenamento.....	24
Figura 9. Valores médios de (A) perda de massa fresca (%), (B) firmeza (N), (C) luminosidade L*, (D) coordenada de cromaticidade a* e (E) croma C* em tomates cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA ₃ e armazenados por 15 dias em temperatura ambiente.....	27
Figura 10. Valores médios de despencamento natural (%) em cachos de tomate cv. BRS Nagai tratados com GA ₃ e armazenados durante 15 dias em temperatura ambiente.....	28
Figura 11. Valores médios de perda de massa fresca (%) em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA ₃ e GA ₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.....	29
Figura 12. Valores médios de firmeza instrumental em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA ₃ e GA ₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.....	31
Figura 13. Porcentagem de frutos despencados (%) em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA ₃ e GA ₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.....	33
Figura 14. Valores médios para resistência ao despencamento (N) em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA ₃ e GA ₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.....	34
Figura 15. Desenvolvimento de coloração de casca em tomate cv. BRS Nagai em cacho aos 2, 4, 6, 8, 10 e 12 dias de armazenamento em temperatura ambiente. (A) Controle, (B) GA ₃ e (C) GA ₃ + Etileno.....	36
Figura 16. Valores de coordenada de cromaticidade a* em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA ₃ e GA ₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.....	37

Figura 17. Valores médios de (A) luminosidade L*, (B) coordenada de cromaticidade b*, (C) croma C* e (D) ângulo Hue (valor h°) em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA3 e GA3 + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.....	40
Figura 18. Valores médios de pH em tomate cv. BRS Nagai armazenados em cachos durante 12 dias, tratados com GA3, GA3 + Etileno.....	41
Figura 19. Microscopia ótica da zona de abscisão (ZA) em tomate cv. BRS Nagai no segundo dia de armazenamento em cacho, tratados com (A) controle; (B) GA3 e (C) GA3 + Etileno e armazenados em temperatura ambiente com aumento de 2,5x; pd: pedúnculo; pc: pericarpo; ca: inserção do cálice.....	44
Figura 20. Microscopia ótica da zona de abscisão (ZA) em tomate cv. BRS Nagai no décimo segundo dia de armazenamento em cacho, tratados com (A) controle; (B) GA3 e (C) GA3 + Etileno e armazenados em temperatura ambiente - aumento de 2,5x .Utilizou-se aumento de 10x para verificar a diferenciação celular na ZA (D) controle; (E) GA3 e (F) GA3 + Etileno; pd: pedúnculo; pc: pericarpo; ca: inserção do cálice.....	45
Figura 21. Microscopia ótica da zona de abscisão (ZA) em tomate cv. BRS Nagai no décimo nono dia de armazenamento em cacho, tratados com (A) controle após processo de abscisão – região superior da ZA; (B) GA3; (C) GA3 + Etileno após processo de abscisão – região superior da ZA; (D) controle após processo de abscisão – região inferior da ZA; (E) GA3 + Etileno e (F) GA3 + Etileno após processo de abscisão – região inferior da ZA e armazenados em temperatura ambiente. Aumento de 2,5x.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores médios de firmeza instrumental (N) em tomates cv. BRS Nagai em cachos, tratados com GA ₃ e GA ₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente	30
Tabela 2. Valores médios de atividade enzimática da pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG) em tomates cv. BRS Nagai em cachos, tratados com GA ₃ e GA ₃ + Etileno no 12º dia de armazenamento em temperatura ambiente	32
Tabela 3. Valores médios de resistência ao despencamento (N) em tomate cv. BRS Nagai em cachos, tratados com GA ₃ e GA ₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente	34
Tabela 4. Valores médios de coordenada de cromaticidade a* em tomate cv. BRS Nagai em cachos, tratados com GA ₃ e GA ₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente	37
Tabela 5. Valores médios de pH em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA ₃ e GA ₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente	41
Tabela 6. Valores médios de SST, ATT e relação SST/ATT em tomate cv. Nagai em cacho, tratados com GA ₃ e GA ₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	2
2.1. A cultura do tomateiro	2
2.2. Cultivar BRS Nagai	2
2.3. Sistema TOMATEC	3
2.4. Abscisão de frutos	4
2.5. Etileno	5
2.5.1. Etileno e abscisão de frutos	6
2.6. Giberelina	7
2.6.1. Giberelina e fixação de frutos	8
2.7. Amadurecimento e alterações fisiológicas	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Experimento 1	15
3.2. Experimento 2	17
3.3. Características avaliadas	18
3.3.1. Perda de massa fresca	18
3.3.2. Firmeza	19
3.3.3. Atividade enzimática	19
3.3.4. Despencamento natural	21
3.3.5. Resistência ao despencamento	21
3.3.6. Cor	22
3.3.7. Sólidos solúveis totais	23
3.3.8. Acidez total titulável	23
3.3.9. Relação SST/ATT	23
3.3.10. pH	23
3.3.11. Microscopia ótica da zona de abscisão	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1. Experimento 1	25
4.2. Experimento 2	29
4.2.1. Perda de massa fresca	29
4.2.2. Firmeza	30
4.2.3. Atividade enzimática	31
4.2.4. Despencamento natural	33
4.2.5. Resistência ao despencamento	34
4.2.6. Cor	35
4.2.7. Análise química	40
4.2.8. Microscopia ótica da zona de abscisão	43
5. CONCLUSÃO	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

No cenário nacional, o tomate (*Solanum lycopersicum* L.) ocupa a décima sexta posição dentre os produtos agropecuários produzidos no país e o primeiro lugar entre os produtos hortícolas (FAOSTAT, 2014). Segundo dados do Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – IBGE (2017), a produção nacional de tomate atingiu valores de 3.787.324 toneladas em uma área plantada de 58.611 hectares, totalizando uma produtividade de 64.618 kg/ha, com uma variação 1,2% superior ao ano anterior. É uma olerícola com ampla aceitação, estando associada com as características nutricionais que os frutos apresentam, sendo ricos em vitaminas, sais minerais, com grande importância para a nutrição humana (MELO et al., 2014).

De acordo com Macedo et al. (2005), a cultura é extremamente exigente em adubação, calagem e diversos tratamentos culturais devido à forte incidência de pragas e doenças, levando à um uso indiscriminado de agroquímicos, com altas taxas residuais de agrotóxicos nos frutos. Tais práticas ainda ocasionam custos elevados de produção, aumentando os riscos da lavoura devido a oscilação de preços. Tendo em vista a problemática acima citada em torno da produção de tomate, foi desenvolvido pela Embrapa Solos o Sistema de Produção do Tomate Ecologicamente Cultivado – TOMATEC, com a premissa de aliar o desenvolvimento sustentável com a preservação do meio ambiente.

Com a premissa de comercialização dos frutos no cacho, uma análise aprofundada do balanço hormonal e aplicação de reguladores vegetais em pós-colheita faz-se necessária para garantir a fixação dos frutos e homogeneização da maturação por um período de tempo prolongado. Estornell et al. (2013) afirmam que o processo de abscisão consiste no desprendimento total de órgãos, sejam eles de caráter reprodutivo ou vegetativo. Tal fenômeno ocorre com a separação celular na chamada camada ou zona de abscisão (ZA), localizada em pontos específicos da estrutura vegetal.

O balanço hormonal atua, entre outros fatores, na prevenção da síntese de enzimas hidrolíticas, como a PME e a PG, que são responsáveis pela degradação da pectina, um dos principais componentes da parede celular (TAIZ & ZEIGER, 2017).

Neste sentido, o presente trabalho objetivou avaliar a influência da aplicação pós-colheita de ácido giberélico (GA_3) e a combinação de GA_3 e etileno em tomates cultivados sob sistema TOMATEC, visando a comercialização dos frutos no cacho. Foram avaliados parâmetros físico-químicos, processo de abscisão, atividade

enzimática na região de abscisão dos frutos e avaliação da formação da ZA por microscopia ótica em cachos de tomate durante o período de armazenamento.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A cultura do tomateiro

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é originário da América do Sul, mais especificamente da região localizada entre o norte do Chile e o Equador, onde podem ser encontradas diversas espécies, desde o litoral do Oceano Pacífico até uma altitude de mais de 2000 metros na região andina. Difundiu-se por todo o mundo, ocupando lugar de destaque entre os produtos hortícolas. É uma dicotiledônea e devido a sua amplitude de cultivo, essa hortaliça já é considerada cosmopolita, ocupando o segundo lugar mundial, atrás apenas da batata. (SPADONI, 2015; SILVA, 2015).

A planta pertence à família Solanáceae, com hábito herbáceo de crescimento, caule flexível, com inúmeras ramificações laterais, sendo amplamente modificada em sistemas de produção com a utilização de operações como desbrota e poda (SPADONI, 2015). É uma planta perene, de porte arbustivo, sendo cultivada anualmente. Pode ser conduzida de diferentes formas: rasteira, semirrasteira e ereta. As flores são de coloração amarela, hermafroditas e autógamas. Os frutos são bagas carnosas de tamanhos e formatos variados, sendo, internamente, dividido em lóculos (RAMOS, 2013).

É uma cultura de clima tropical de altitude que se adapta a quase todos os tipos de clima, não tolerando temperaturas muito elevadas, por isso é cultivado em todo o mundo. O tomateiro é exigente em termoperiodicidade diária, requer temperaturas diurnas amenas e menores durante o período noturno. Sob condições de alta luminosidade, as temperaturas ótimas são de 21-28°C dia e 15-20°C noite, sendo que, temperaturas superiores a 28°C podem prejudicar a síntese de licopeno e aumentar a concentração de carotenoides. No período noturno, temperaturas próximas a 32°C causam abortamento floral, mau desenvolvimento e formação de frutos ocos (SILVA, 2015).

2.2. Cultivar BRS NAGAI

A cultivar BRS Nagai (Figura 1) é um híbrido de tomateiro do grupo italiano que apresenta frutos do tipo saladete com formato alongado. Foi desenvolvido pela

parceria entre o programa de melhoramento genético da Embrapa Hortaliças e pela iniciativa privada - empresa Agrocinco Vegetable Seeds/Dux Company. O genoma da cultivar é constituído por genes naturais de resistência e/ou tolerância a 40 raças/variantes de patógenos fúngicos, bacterianos e virais, bem como a diversas pragas do tomateiro (EMBRAPA Hortaliças, 2012).

O grupo de tomate italiano é indicado tanto para consumo *in natura* quanto para o processamento (ALVARENGA, 2004). Os frutos apresentam características como o formato alongado, reduzido diâmetro transversal quando comparado com frutos de tomate de outros grupos, geralmente biloculares, coloração de casca vermelho vivo, polpa espessa com firmeza considerável e alta palatabilidade (FILGUEIRA, 2008), apresentando grandes atrativos aos consumidores (SPADONI, 2015).



Figura 1. Cacho de tomate na planta cv. BRS Nagai cultivado sob sistema TOMATEC.

2.3. Sistema TOMATEC

O sistema TOMATEC - Tomate em Cultivo Sustentável é um sistema de produção desenvolvido pela Embrapa Solos, no ano de 2005, cujo propósito básico é a melhoria do cultivo do tomate de mesa através de boas práticas agrícolas. As principais práticas envolvidas são a fertirrigação por gotejamento, o ensacamento de pencas, utilização de fitilho nas lavouras e o manejo integrado de pragas (MIP). Além das práticas supracitadas, apresenta também tais características como: sistema de preparo do solo e construção de terraços em nível com o objetivo principal de diminuir as perdas

de solo e água; correção do solo e adubação em função das análises de solo previamente realizadas e exigências específicas da cultura. Preconiza também treinamento adequado aos produtores quanto ao uso de produtos fitossanitários e equipamentos de proteção individual e também orientação para um mercado diferenciado com o objetivo de fornecer um produto com técnicas racionais de cultivo, com agressão mínima ao meio ambiente e obtenção de preços diferenciados através da certificação do produto (EMBRAPA, 2005; TOSTO et al., 2006).

Uma das prerrogativas do sistema é a comercialização de tomates em cacho, pois além de agregar valor comercial aos frutos, a separação dos mesmos do cacho proporciona alterações fisiológicas que ocasionam modificações no balanço hormonal e influenciam no armazenamento e vida útil dos frutos de tomateiro. Entretanto, a falta de uniformização do estágio de maturação, vida útil e despencamento pós-colheita são problemas persistentes.

2.4. Abscisão de frutos

O processo de abscisão é definido pela separação de células no material vegetal, proporcionando o desprendimento de folhas e frutos. A abscisão é fundamental para as plantas e representa uma adaptação evolutiva altamente benéfica pois favorece o descarte de frutos senescentes ou fisiologicamente danificado e possibilita a dispersão de sementes de forma mais eficiente (ESTORNELL et al., 2013; TUCKER & KIM, 2015; MERELO et al., 2017). Entretanto, do ponto de vista econômico, o processo de abscisão pode causar grande impacto ao proporcionar perdas elevadas durante o cultivo e em pós-colheita, como é o caso dos tomates comercializados em cachos.

Ocorrem mudanças estruturais após a formação de uma camada de separação na base do pedúnculo do fruto, chamada zona de abscisão. Na parede celular, na camada de separação, ocorrem alterações como o enfraquecimento da lamela média e hidrólise das próprias paredes celulósicas que ocorrem na zona entre o cálice e o pedúnculo que levam à queda do fruto. Antes do desprendimento do fruto, células fortemente suberificadas são formadas na tentativa de isolar o ponto de abscisão. Com isso, a utilização de reguladores vegetais exógenos pode minimizar algumas barreiras impostas, tanto pela genética quanto pelo ambiente, favorecendo uma maior fixação dos frutos, uma vez que os níveis de reguladores nos tecidos internos influenciam na sua queda (YAMAMURA & NAITO, 1975).

O balanço hormonal previne a síntese de enzimas hidrolíticas, como a celulase, que atua na degradação da parede celular e atua também na atividade da poligalacturonase, que, junto com a celulase, seriam as enzimas responsáveis pelo processo degradativo dos principais componentes da parede celular, a celulose e a pectina (ALMEIDA et al., 2002).

Taiz & Zeiger (1998) definem as pectinas ou ácidos pectínicos como cadeias lineares formadas por 200 unidades de ácido galacturônico aproximadamente, unidas por ligações α -1,4. Os polímeros formadores desse ácido apresentam cargas negativas, podendo se ligar com cátions, principalmente Ca^{+2} , formando géis altamente hidratados na parede celular.

2.5. Etileno

O etileno é um gás de estrutura química extremamente simples, com fórmula molecular C_2H_4 , sendo um hidrocarboneto insaturado. Este componente foi inicialmente identificado como um regulador de crescimento vegetal em 1901, por Dimitry Neljubov, ao demonstrar a capacidade de alterar o crescimento de plântulas de ervilha. Posteriormente foi observado que sua síntese ocorria de forma natural nos tecidos vegetais. Tal hormônio regula grande gama de respostas fisiológicas em plantas, dentre elas a germinação de sementes, expansão e diferenciação celular, senescência e abscisão, além de respostas aos estresses bióticos e abióticos e o amadurecimento (KERBAUY, 2004; CHEN et al., 2005; TAIZ & ZEIGER, 2017).

Yang & Hoffman (1984) originalmente descreveram a via bioquímica responsável pela síntese de etileno, na qual foi possível demonstrar a conversão da S-adenosilmetionina (SAM) em ácido aminociclopropanocarboxílico (ACC) pela ação da ACC sintase e posterior conversão à etileno pela ação da ACC oxidase.

Dois sistemas regulatórios de etileno foram verificados em plantas. O sistema 1 é ativo e funcional durante todo o desenvolvimento vegetativo, sendo etileno auto inibitório e responsável pela produção do fitormônio em níveis basais e detectado por todo o tecido vegetal, incluindo os frutos não climatéricos. Já o sistema 2 opera exclusivamente durante o amadurecimento de frutos climatéricos e senescência, com produção auto catalítica de etileno (ALEXANDER & GRIERSON, 2002).

2.5.1. Etileno e abscisão de frutos

O etileno é o hormônio vegetal que desempenha papel fundamental na ativação de diversos eventos relacionados à abscisão. O processo pode ser dividido em três fases nas quais as células que compõem a zona de abscisão tornam-se responsivas ao etileno. Na fase 1, conhecida como *fase de manutenção*, existe um gradiente de auxina que mantém a zona de abscisão em estado insensível ao etileno. A fase 2 de *indução da abscisão* é caracterizada pela redução ou reversão do gradiente de auxina e tornam a zona de abscisão sensível ao etileno. Na fase 3, de *abscisão*, as concentrações de etileno tornam-se mais baixas (TAIZ E ZEIGER, 2017).

Foi observado por Nakano et al. (2003) que a indução inicial para síntese de etileno, em frutos de caqui despencados, ocorria na região do cálice e estava relacionada com a perda de água dos frutos durante o armazenamento. O etileno proveniente do cálice, mesmo em baixas concentrações, é difundido para o parênquima do pericarpo, transmitindo sinal para que ocorra síntese de etileno auto catalítico nos demais tecidos do fruto, com um pico de produção de etileno, ocasionando na queda fisiológica do fruto, com a diferenciação celular na ZA.

A zona de abscisão varia quanto à sua espessura e em condições apropriadas, as células da ZA dão início a sua expansão, iniciando a dissolução da lamela média, proporcionando o aparecimento do plano de fratura e conseqüente queda do órgão. Durante o desenvolvimento do órgão, seja flor ou fruto, essa zona torna-se morfológica e bioquimicamente diferenciada, muito antes de ocorrer sua separação. (KERBAUY, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2017).

Considerando aspectos anatômicos, fisiológicos, genéticos e moleculares, para que ocorra o processo de abscisão de forma completa são necessárias quatro fases sucessivas. Na primeira fase ocorre uma diferenciação celular inicial na região onde a ZA será futuramente formada. Na segunda fase, após a diferenciação celular, a ZA torna-se apta a responder aos sinais da abscisão, provenientes do processo de amadurecimento e regulado pelo balanço hormonal. Durante a terceira fase, que é mediada pela ação do etileno, ocorre a abscisão com o processo de separação celular, envolvendo indução de enzimas hidrolíticas e modificadoras da parede celular, que degradam a lamela média entre as células da ZA, possibilitando a separação física do órgão. A quarta fase coincide com a terceira, onde imediatamente após a separação

do órgão, inicia-se o desenvolvimento de uma camada de proteção do tecido exposto (LESLIE et al., 2007; BAR-DROR et al., 2011).

De acordo com estudos feitos por Osborne & Morgan (1989), durante o desenvolvimento vegetal, ocorre o posicionamento preciso de células diferenciadas onde, eventualmente, ocorrerá o processo de abscisão do órgão em questão, não sendo um evento ao acaso. A abscisão ocorre, exclusivamente, onde há diferenciação das células para formação da zona de abscisão.

A técnica de microscopia ótica pode ser utilizada para verificar a região de formação da ZA antes que ocorra o processo de abscisão e consiste na ampliação da imagem, favorecendo a observação de estruturas invisíveis a olho nu. O microscópio ótico utiliza luz visível e conta com um sistema de lentes de vidro que resultam na ampliação das imagens das amostras observadas (MOREIRA, 2013).

2.6. Giberelina

Em 1926, E. Kurosawa estudava uma doença de arroz denominada “plântulas loucas”, na qual a planta crescia rapidamente, com coloração pálida e adoentada. Descobriu-se que a causa para tais sintomas teria sua origem em uma substância química produzida por um fungo que parasitava as plântulas. Tal fungo foi identificado como *Gibberella fujikuroi* e a substância química responsável por tais respostas foi nomeada giberelina (KERBAUY, 2004).

As giberelinas (GAs) são uma grande família de fitormônios diterpenóides tetracíclicos que regulam diversos processos do desenvolvimento ao longo do ciclo de vida das plantas (HEDDEN & KAMIYA, 1997). Dentro desses diversos processos podemos destacar o desenvolvimento e germinação de sementes, alongamento do colmo, indução e desenvolvimento floral e de frutos, expansão foliar e desenvolvimento de tricomas (GAO et al., 2011).

Atualmente, sabe-se que as giberelinas são produzidas pelas próprias plantas, atuando como fitormônio. Já foram identificados mais de 136 tipos de GAs em plantas superiores, fungos e bactérias, sendo que, apenas um pequeno grupo destas são biologicamente ativas: GA₁, GA₃, GA₄ e GA₇, sugerindo um elevado grau de especificidade, sendo as demais precursoras da biossíntese ou representam compostos inativos do hormônio vegetal (COWLING et al., 1998; DOCEMA, 2016). Dentre todas

as moléculas identificadas e isoladas de giberelina, o ácido giberélico (GA_3) é o mais utilizado em sistemas biológicos (DAVIES, 2010).

A utilização de reguladores de crescimento (fitorreguladores), a fim de proporcionar aumento na produção e na qualidade de frutos, vem sido amplamente utilizada em cultivos comerciais de tomateiros (AYUB & REZENDE, 2010). Segundo Greene (2010), a descoberta de tais hormônios vegetais e de sua capacidade de regulação de aspectos de crescimento e desenvolvimento de plantas foram de grande importância para o desenvolvimento e consolidação da horticultura, sendo que podem ser utilizados para incremento da produtividade, melhoria da qualidade e pós-colheita dos produtos.

A giberelina é um regulador de crescimento que atua na divisão e alongamento celular, principalmente nas células jovens. Na cultura do tomateiro, a utilização de tal regulador depende do balanço hormonal endógeno, sendo influenciado pelo momento de aplicação, cultivar utilizada, dosagem e tipo de fitohormônio empregado, estado nutricional da cultura e sua interação com o ambiente (KERBAUY, 2004).

A eficiência na utilização de giberelinas deve-se a vários fatores, desde a forma de aplicação, de modo a propiciar a entrada no citoplasma, o momento de aplicação do regulador vegetal levando em consideração a sensibilidade dos tecidos vegetais, o efeito do clima sobre o metabolismo do órgão vegetal, o comportamento da variedade e o estado geral em que a planta se encontra (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

2.6.1. Giberelina e fixação de frutos

Com a finalidade de aumento da fixação de frutos, o GA_3 é utilizado em diversas culturas. Tal hormônio vem sendo muito empregado na fruticultura, aumentando a força de dreno durante o desenvolvimento de órgãos reprodutivos estimulados pela formação de folhas novas que promovem a síntese de fotoassimilados (DOCEMA, 2016).

Nos ovários em desenvolvimento, ocorre o aumento na concentração de giberelina que, durante a antese, forma parte do estímulo hormonal que ativa a divisão celular propiciando, assim, a fixação do fruto. Em muitas sementes e frutos em processo de desenvolvimento também são encontrados altos níveis de giberelina ativa, que sofrem decréscimo a valores próximos de zero quando amadurecem.

A aplicação de GA₃ estimula a formação de novas folhas e aumenta a área foliar de folhas já existentes, conseqüentemente, aumentando a síntese de fotoassimilados, o crescimento de ramos e o pegamento e fixação de frutos (SHANI et al., 2006). Além disso, a aplicação de tal hormônio atrasa a diminuição do teor de clorofila na casca, reduzindo o acúmulo de carotenoides e, dessa forma, atrasando a senescência da casca. A combinação entre auxinas e giberelinas têm sido estudadas por atuarem, total ou parcialmente, como eficientes retardadores da senescência de frutos (ALMEIDA et al., 2002; CHITARRA & CHITARRA, 2005).

A aplicação exógena aumenta a fixação de frutos tanto em cultivares que florescem excessivamente, procurando diminuir o índice de florescimento, inibindo a formação de gemas florais através da aplicação do fitormônio no momento da indução floral ou promovendo o rápido crescimento dos ovários, no final da floração, favorecendo a translocação de metabólitos para as brotações e frutos recém-formados (SILVA & DONADIO, 2000).

Segundo Pires & Botelho (2003), o ácido giberélico é bastante utilizado em videiras para aumento do tamanho e fixação de bagas, descompactação de cachos e ausência de sementes. Os autores também verificaram que a maior fixação de bagas após a aplicação de ácido giberélico (GA₃) pode estar relacionada com a formação de enzimas proteolíticas, que podem liberar o triptofano, sendo esse um dos precursores do AIA (ácido indolacético). O AIA e seu modo de ação na fixação de frutos parecem estar relacionados com o fato de retardar a formação da zona de abscisão.

O gradiente de auxina presente entre o órgão e a planta mãe impede a abscisão, mantendo as células da ZA insensíveis ao etileno. No decorrer do desenvolvimento vegetal, a concentração de auxina diminui na região, seguida por aumento na concentração de etileno. Tal aumento ocasiona queda na atividade da auxina tanto pela redução de síntese e transporte quanto pelo aumento da destruição da mesma. Associado à redução de auxina, ocorre aumento na resposta de células específicas na ZA. Então ocorre indução de genes relacionados à abscisão, com codificação de enzimas hidrolíticas e remodeladoras específicas da parede celular, ocasionando o desprendimento do órgão e caracterizando o processo de abscisão (TAIZ & ZEIGER, 2017).

2.7. Amadurecimento e alterações fisiológicas

O amadurecimento de frutos é um processo geneticamente programado, de alta complexidade e ocasiona diversas alterações fisiológicas nos frutos, sendo elas alterações na coloração de casca, textura, firmeza, sabor e aroma (ALEXANDER & GRIERSON, 2002).

Existem dois diferentes mecanismos de amadurecimento no reino vegetal e dividem os frutos em dois grupos: climatéricos e não climatéricos. Nos frutos climatéricos, o amadurecimento é acompanhado de um pico respiratório e aumento repentino na concentração de etileno, necessários para que ocorra o processo natural de amadurecimento. Já nos frutos não climatéricos, a respiração pós-colheita não apresenta alterações consideráveis e a concentração de etileno permanece em níveis basais (TAIZ & ZEIGER, 2017).

O tomate é um fruto climatérico com o amadurecimento iniciando pela porção distal do fruto, ou seja, na ponta mais distante do pedúnculo, ocorrendo, posteriormente, nas regiões próximas até que todo fruto seja atingido (ALEXANDER & GRIERSON, 2002).

Tais alterações ultraestruturais são consequências da atividade de enzimas que modificam a estrutura e propriedades físico-químicas de diversos componentes da parede celular (TUCKER et al., 2017).

Segundo Chitarra & Chitarra (2005), a aparência, a textura, o sabor, aroma e o valor nutritivo são importantes atributos relacionados com a qualidade dos frutos, sendo a aparência um dos mais importantes fatores de qualidade quando se trata de comercialização.

A composição dos frutos varia de acordo com o material genético, nutrição, condições ambientais e de cultivo aos quais foram submetidos. Apresentam baixo valor calórico e teor de massa seca, sendo muito rico em cálcio e vitamina C (ALVARENGA, 2004). Considerando as características químicas (SST, ATT, pH, relação SST/ATT) e a coloração, uma gama de fatores podem ocasionar em alterações dentro de uma mesma espécie e entre cultivares.

A qualidade do tomate baseia-se, entre outros fatores, nas suas características físico-químicas, sendo a qualidade nutricional responsável por propriedades intrínsecas à saúde humana. Dentre esses fatores estão o sistema de produção adotado, ponto de

colheita, transporte e técnicas pós-colheita empregadas (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Segundo Seymour et al. (1993), o amadurecimento de frutos, com conseqüente diminuição de massa fresca e de firmeza da casca e polpa, deve-se a mudanças que ocorrem nos componentes pécticos da parede celular.

A massa fresca é um dos principais indicadores da qualidade física durante a maturação de tomates em pós-colheita. A perda de massa fresca (PMF), decorrente de processos transpiratórios e respiratórios, pode levar ao murchamento e perda de qualidade de frutos, diminuindo sua vida útil e aceitabilidade comercial (KLUGE & MINAMI, 1997; FABBRI, 2009). Foi verificado por Menezes et al. (2017) que frutos de tomate armazenados sob temperatura ambiente ($25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $85 \pm 5\%$ UR) durante 12 dias apresentaram perda de massa estimada em 4,15%. Já Chiumarelli & Ferreira (2006) observaram perda de massa fresca de 5,10% em tomates 'Débora' armazenados durante 15 dias sob condições ambiente (25°C e 90%UR).

Sendo o fruto de tomate composto por aproximadamente 90% de água (TAKAHASHI et al., 2018), segundo Andrade-Junior (1999), uma perda de massa fresca, durante o armazenamento, entre 3 - 6% já representa depreciação do produto, podendo afetar sua comercialização.

Ferreira et al. (2004) afirma que a perda de massa fresca também está relacionada com a atividade da poligalacturonase (PG), aumentando a permeabilidade da parede celular e conseqüentemente aumentando a transpiração. A perda de massa fresca comporta-se numa razão inversa à firmeza, pois enquanto uma aumenta gradativamente durante o armazenamento a outra diminui, respectivamente.

A firmeza é outro fator muito importante para qualidade de tomate para consumo "in natura", pois indica a capacidade do fruto em tolerar ações em pós-colheita como transporte e manuseio, desde a colheita até a comercialização (RESENDE et al., 2004).

A matriz de polissacarídeos, especialmente as pectinas, sofrem alterações durante o processo de amadurecimento. Tais modificações estão diretamente relacionadas com a diminuição de firmeza (DUMVILLE & FRY, 2003). Simultaneamente ao amadurecimento, os frutos sofrem o amolecimento, que é causado por degradação controlada de polissacarídeos, resultando em um incremento de tamanho da parede celular primária tornando-a mais hidratada e macia (BRUMMELL, 2006).

Dados obtidos por Ferreira et al. (2012) apontam que os híbridos de tomate ‘Mariana’ e ‘SM-16’ apresentavam 13,23 N e 18,93 N de firmeza, respectivamente, no estágio 1 de maturação (verde) e ao atingirem o estágio 4 (vermelho) os híbridos apresentaram 12,88 N e 12,92 N.

A pectinametilesterase (PME) é uma enzima do grupo das hidrolases, atuante na ligação éster entre os grupos metil na cadeia das pectinas, formando grupos carboxílicos, resultando na liberação de ácido pécico – pectinas com baixo teor de metoxilação – e etanol (KOBELITZ, 2008; REHMAN et al., 2015).

Tal enzima remove ésteres metílicos de forma gradual, tendo como produto da reação o ácido pécico não metil esterificado com uma distribuição de carga ordenada (CAMERON et al., 2015).

A PME tem papel fundamental no processo de amadurecimento e amaciamento de frutos por proporcionar aumento *in vivo* da suscetibilidade das pectinas a ação da PG. A atividade da PME precede a ação da PG, uma vez que a PME tem a função de desesterificar os resíduos de galacturonosil, presente no polímero de ácido galacturônico, onde o grupo carboxílico se encontra metilesterificado, atuando nos finais redutores e no interior das cadeias pécicas altamente esterificadas, reduzindo seu peso (KOCH & NEVINS, 1989, BICALHO et al., 2000).

No início do processo de maturação, as protopectinas sofrem processo de hidrólise ácida ou ação das protopectinases, formando ácidos pécicos. A hidrólise da pectina depende da ação da PME, que está presente em todos os estádios de desenvolvimento, porém ocorre aumento de sua atividade após início do amadurecimento. Ao contrário da PG, estudos mostram que a atividade da PME ocorre tanto no desenvolvimento quanto no amadurecimento de frutos de tomate (PRESSEY & AVANTS, 1982). Tal enzima apresenta grande importância durante o amadurecimento de frutos, principalmente os climatéricos.

Segundo Harriman et al. (1991), no período entre 10 a 20 dias após a fecundação, já é possível detectar a atividade e o mRNA de PME, com acúmulo contínuo até o fruto atingir o estágio “de vez”, apresentando concentração vinte vezes maior do que foi encontrado em frutos no início do desenvolvimento, acompanhado por declínio nos próximos estádios de amadurecimento.

A poligalacturonase (PG) catalisa a hidrólise das ligações α 1-4 entre os resíduos de ácido galacturônico após ação da PME na cadeia de pectina (FISCHER &

BENNETT, 1991). Tal enzima é capaz de realizar a clivagem da ligação α 1-4 entre ácidos galacturônicos somente se ambos os ácidos galacturônicos adjacentes estiverem desesterificados (PRESSEY & AVANTS, 1973).

Estudos apontam que a atividade da PG é ausente em frutos verdes de tomate e que apresenta incremento significativo durante o amadurecimento dos frutos (HOBSON, 1964). Com o início do amadurecimento, ocorre a solubilização das protopectinas pela ação da PG e liberação de cálcio pela acidificação da parede celular, ocasionando o enfraquecimento das ligações dos polissacarídeos presentes na parede pelo deslocamento dos íons cálcio das zonas de junção. A PG é uma enzima sintetizada *de novo* durante o amadurecimento (TUCKER et al., 1984), ou seja, ela só é sintetizada após respostas e início do amadurecimento de frutos, ao contrário da PME.

Na Figura 2 pode-se observar como ocorre a atuação das enzimas pectinolíticas, PME e PG, sobre uma molécula de pectina (Figura 2).

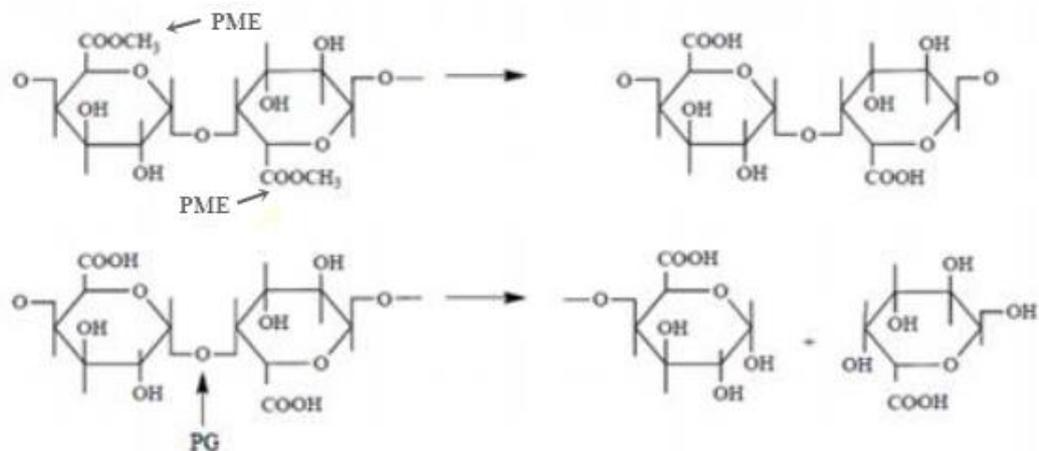


Figura 2. Modo de ação da pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG) sobre uma molécula de pectina. **Fonte:** Adaptação de Pedrolli et al., (2009).

Outro parâmetro indicador de qualidade dos frutos em tomate é a coloração da casca, que sofre fortes influências do armazenamento e das condições em que ocorrem.

A coloração vermelha característica de tomates maduros é consequência do acúmulo de licopeno, carotenoide predominante em tais frutos e β -caroteno, que está associado com a alteração da coloração de verde para vermelho. Com o progresso do amadurecimento em tomate, ocorre alteração na coloração da casca do fruto de verde para vermelho, onde os cloroplastos são convertidos em cromoplastos, sendo a clorofila degradada havendo acúmulo de carotenoides (ALEXANDER & GRIERSON, 2002). A

cor é um dos principais parâmetros indicadores de qualidade e tem forte influência na aceitação do consumidor sobre o produto (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Além do desenvolvimento da coloração de casca, os sólidos solúveis totais (SST) são os principais atributos químicos que indicam maturação dos frutos e correspondem a todas as substâncias que se encontram dissolvidas na solução aquosa dos mesmos. Moura et al. (2005) preconizam que estes são constituídos por compostos solúveis em água que representam os açúcares, ácidos, vitamina C e algumas pectinas.

Em frutos de tomateiro, os sólidos solúveis apresentam maior acúmulo na fase final de maturação e são constituídos de 65% de açúcares (sacarose e frutose) (ALVARENGA, 2004).

Variações no conteúdo de SST podem ser verificadas entre diferentes variedades de tomate. Valores de 4° brix em tomate italiano (MONTEIRO et al., 2008), 3,8° brix em tomate 'Golden' (KUMAR et al., 2014) e 4,5 – 4,77° brix para híbrido Paronset (TAKAHASHI et al., 2018) foram verificados em tomate.

Durante o amadurecimento, o teor de sólidos solúveis geralmente aumenta devido à biossíntese de açúcares e ácidos ou a degradação de ácidos já existentes (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Ramos (2013) verificou que em relação à acidez titulável total (ATT), frutos de tomateiro atingem o máximo valor nos primeiros sinais de coloração amarela e ocorre redução progressiva com o avanço da maturação do fruto. Entre os principais ácidos orgânicos encontrados em frutos de tomate, o ácido cítrico está presente em maiores quantidades, correspondendo a aproximadamente 90% da acidez titulável total. A prevalência do ácido cítrico em frutos de tomate faz com que o mesmo seja o representante da acidez titulável em tomate.

Ainda segundo o mesmo autor, após a formação do fruto, o pH sofre redução durante o crescimento até o estágio verde-maduro, sofrendo um ligeiro aumento durante o amadurecimento. As alterações na ATT ocorrem de forma inversamente proporcional às alterações de pH durante o amadurecimento em frutos de tomate.

A relação entre SST e ATT está diretamente relacionada com o sabor do fruto pois fornece a interação entre o conteúdo de açúcares e ácidos presentes no mesmo. No processo normal de amadurecimento, os valores dessa relação tendem a aumentar devido ao acúmulo nos teores de açúcares e diminuição dos ácidos (AZZOLINI, 2002; CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Valores elevados na relação SST/ATT indicam combinação excelente de açúcar e ácido, propiciando sabor suave, enquanto que valores mais baixos para tal relação ocasionam acidez elevada e sabor acre nos frutos de tomateiro (HEUVELINK, 2005; CARDOSO et al., 2006).

O termo pH é utilizado para expressar a concentração de íons de hidrogênio presente em determinada solução. Tal concentração é responsável por controlar e regular diversas reações químicas e microbiológicas em produtos vegetais. Observações de Heuvelink (2005) mostram que a faixa normal de pH do tomate fresco está entre 4,1 e 4,8 e o armazenamento em temperatura ambiente eleva o pH dos frutos devido a metabolização dos ácidos orgânicos.

Estudos demonstram que o pH decresce significativamente com os primeiros sinais de maturação em tomate, ocorrendo leve aumento ao atingir o estágio “passado”, podendo ser explicado em consequência da alteração nos valores de acidez titulável durante o amadurecimento dos frutos (FERREIRA, 2004).

Estudos com diferentes cultivares de tomate indicam diferentes valores para pH. Monteiro et al. (2008) verificaram valores de 4,6 para pH em tomate italiano. Também foram encontrados valores de 4,4 para cv. Carmen (BORGUINI, 2002), uma faixa de 4,31 até 4,36 para cv. Santa Clara (FERREIRA et al., 2004) e valores de 4,2 para cv. Katia (CAVASSA et al., 2004).

Além da forte influência do pH sobre o controle microbiológico em frutos de tomateiro, foi observado por Lee & Macmillan (1968) que tal atributo químico também influencia na atividade de algumas enzimas, como a PME, que apresenta máxima atividade em pH 8,5.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Experimento 1

Devido à escassez de trabalhos com aplicação pós-colheita de ácido giberélico (GA₃), em frutos de tomateiro, realizou-se experimento preliminar para verificação do comportamento dos frutos em função do tratamento empregado.

Os cachos de tomate BRS Nagai foram cultivados sob o sistema TOMATEC, em área comercial, no município de Tanguá – RJ, localizado a 22°43'45'' de latitude sul e

42°42'51'' de longitude oeste a 20m de altitude. O cultivo foi feito em campo aberto (Figura 3) com aproximadamente 2.200 plantas/ha.



Figura 3. Linhas de plantio de tomate sob sistema TOMATEC em campo aberto. Tanguá – RJ.

A colheita foi realizada manualmente, cortando-se os cachos com tomates no estágio verde maduro, contendo de 3 a 7 frutos por cacho, totalizando 100 cachos colhidos, onde 50 cachos foram tratados com 90 mg.L^{-1} de GA_3 e 50 cachos para o controle. Os cachos apresentaram peso médio de aproximadamente 440 g e receberam os tratamentos imediatamente após a colheita, ainda no campo. Estes foram acondicionados em caixas plásticas e transportados sob condições ambiente até o Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita da Embrapa Agroindústria de Alimentos, onde permaneceram em condições ambiente ($24^\circ \pm 3^\circ\text{C}$ e $75 \pm 4\%$ UR) durante 15 dias, sendo em seguida submetidos às avaliações no maior e menor fruto dos cachos a fim de verificar diferenças nos estágios de maturação, nos dias 1, 3, 6, 8, 10, 12 e 15 de armazenamento. Avaliou-se firmeza instrumental, perda de massa fresca do cacho, coloração instrumental da casca e despencamento natural dos frutos, cujas metodologias serão descritas posteriormente.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado contendo dois tratamentos: T1 – aplicação de 90 mg.L^{-1} de ácido giberélico GA_3 (ProGIBB® 400), por borrifação direcionada para a região de abscisão em cada fruto dos cachos, até o total molhamento da mesma e T2- controle, com borrifação de água destilada também direcionada para região de abscisão em cada fruto dos cachos até o completo molhamento. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando houve

interação significativa entre os tratamentos e os períodos de armazenamento pelo teste F, realizou-se regressão dos dados e as médias foram testadas pelo teste Tukey a 5% utilizando o programa estatístico SPSS Statistics 22.

3.2. Experimento 2

Para o experimento principal, os cachos de tomate italiano cultivar BRS Nagai, também cultivados sob o sistema TOMATEC, em área comercial, foram colhidos de cultura instalada na cidade de Nova Friburgo – RJ, localizada a 22°16'55" latitude sul e 42°31'52" de longitude oeste a uma altitude média de 985m. Os frutos foram produzidos em cultivo protegido (Figura 4), com aproximadamente 400 plantas por linha, em cinco linhas, totalizando 2.000 plantas/ha.



Figura 4. Linhas de plantio de tomate em cultivo protegido sob sistema TOMATEC. Nova Friburgo – RJ.

A colheita foi realizada selecionando-se cachos com 4 frutos, no estágio verde maduro, com peso médio de aproximadamente 430g por cacho, totalizando 102 cachos. A aplicação de GA₃ foi feita por imersão total dos cachos, imediatamente após a colheita, durante dois minutos, em balde de alumínio contendo 20 litros de solução de ácido giberélico a 90 mg.L⁻¹. O tratamento com etileno foi realizado no primeiro dia de armazenamento, já no laboratório de Fisiologia da Pós-Colheita da Embrapa Agroindústria de Alimentos, utilizando-se caixa plástica hermeticamente vedada nas dimensões de 0,8x0,47x0,51m. A vazão utilizada foi de 5 mL de mistura gasosa composta por etil 5% e ar comprimido, durante 6 minutos, atingindo assim 150 mL.L⁻¹ e os cachos foram mantidos na caixa durante 24 horas, à temperatura de 24° ± 2°C e umidade relativa de 95 ± 5%. Esse tratamento ocorreu porque as análises do

experimento preliminar mostraram que a cultivar não apresentava homogeneidade de maturação dos frutos, com o maior fruto do cacho apresentando coloração totalmente vermelha enquanto o menor apresentava coloração verde, o que não se espera comercialmente. O controle foi realizado por imersão total dos cachos, em balde de alumínio, contendo 20 litros de água, durante 2 minutos. Os tomates foram armazenados durante 12 dias com avaliações de qualidade realizadas de dois em dois dias à temperatura de $24^{\circ} \pm 3^{\circ}\text{C}$ sob umidade relativa de $75 \pm 4\%$. Além das análises realizadas no experimento preliminar como: despencamento natural, perda de massa fresca do cacho, cor instrumental e firmeza instrumental, também foram realizadas análises de: resistência ao despencamento, atividade enzimática na camada de abscisão – poligalacturonase (PG) e pectinametilesterase (PME), sólidos solúveis totais, acidez total titulável, ratio e pH, além da análise de microscopia. As análises químicas iniciaram quando pelo menos 80% dos frutos apresentava coloração vermelha ou transicional (FERREIRA et al., 2010), o que ocorreu a partir do sexto dia de armazenamento.

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos: T1 – controle; T2 – cachos tratados com 90 mg.L^{-1} de GA_3 (ProGIBB® 400); T3 – cachos tratados com 90 mg.L^{-1} GA_3 (ProGIBB® 400) + 150 mL.L^{-1} de etileno. Todas as avaliações foram feitas em 3 cachos (1 cacho = 1 repetição) para cada tratamento. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e quando houve interação significativa entre os tratamentos e o período de armazenamento pelo teste F, realizou-se regressão dos dados e as médias foram testadas pelo teste Tukey a 5% utilizando o programa estatístico SPSS Statistics 22.

3.3. Características Avaliadas

3.3.1. Perda de Massa Fresca

A perda de massa fresca foi obtida pela diferença de peso entre os cachos, durante os dias de armazenamento em balança de precisão. A perda de massa fresca foi expressa em porcentagem e a pesagem foi realizada sempre nos mesmos cachos, que foram marcados no primeiro dia.

$$PMF = \frac{PI - PF}{PI} * 100$$

onde:

PMF: perda de massa fresca;

PI: peso inicial do cacho no primeiro dia de avaliação;

PF: peso do cacho em cada dia avaliado.

3.3.2. Firmeza

A firmeza dos frutos foi determinada em três cachos por tratamento em cada data de avaliação, sendo medida no maior e menor fruto de cada cacho no experimento 1 e nos dois maiores frutos do cacho no experimento 2, sendo determinada na região equatorial dos frutos, em lados opostos, com a utilização do texturômetro digital TEXTURE ANALYSER – TA/TX PLUS, Extralab. O probe (ponteira) utilizado é definido de acordo com o tipo de amostra. Para tomate foi utilizado ponteira de 2mm com perfuração durante 1 minuto. Os frutos foram analisados com casca para todas as repetições em todos os tratamentos. Após a medição, obtém-se a força necessária para a penetração do probe na amostra, em Newtons (N), considerando o maior valor obtido.

3.3.3. Atividade Enzimática

A determinação da atividade da PME foi feita de acordo com técnica descrita por Jen & Robinson (1984). O extrato enzimático foi obtido através de homogeneização de 1,5 g de material vegetal, em 100 mL de água destilada à 4° C e ressuspensão do resíduo em 100 mL de NaCl 0,2 N. O material vegetal foi obtido através do corte, de aproximadamente 2mm, entre o fruto e o pedúnculo, mantendo a camada de abscisão (Figura 5). O mesmo extrato enzimático foi utilizado tanto para avaliação da atividade de PME quanto de PG.

Para o substrato utilizou-se solução de pectina cítrica 1%, onde 10 g de pectina foram diluídas em 1000 mL de NaCl 0,2 N. Após homogeneização, o pH foi ajustado para 7,0 com NaOH 2 N à temperatura ambiente. Para determinação da taxa de desmetilação da pectina foram

adicionados 4 mL do extrato enzimático em 30 mL de pectina cítrica 1% com ajuste do pH da solução até 7,0 após 10 minutos de reação.

Uma unidade de atividade da PME foi determinada como a quantidade de enzima capaz de catalisar a desmetilação de pectina correspondente ao consumo de um nanomol de NaOH 0,01 N por grama de amostra por minuto ($\text{nmol de NaOH } 0,01\text{N}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$).



Figura 5. Corte de aproximadamente 2mm da camada de abscisão de frutos de tomateiro no cacho para determinação da atividade enzimática na região.

A determinação da PG foi feita de acordo com Couri (1993), onde 0,1 mL do extrato enzimático foi adicionado em 4 mL de solução de ácido poligalacturônico 0,25%. A reação foi conduzida à 35°C durante 30 minutos. Depois, retirou-se 0,5 mL da mistura reacional e adicionou-se em tubos de ensaio contendo 0,5 mL de ácido 3,5-dinitrosalicílico (DNS) previamente preparado, seguido de imersão dos tubos em banho de água fervente (aproximadamente 100°C) por 5 minutos. As amostras foram resfriadas e adicionou-se 6,5 mL de água destilada e posterior homogeneização, levando-se para leitura em espectrofotômetro a 540nm.

A atividade enzimática para PG foi determinada através da dosagem do número de grupos redutores formados por minuto de reação.

3.3.4. Despencamento Natural

Foi avaliado o despencamento natural dos frutos do cacho, com a utilização de “gaiolas” (Figura 6). Tal metodologia foi desenvolvida visando manter os cachos em posição vertical durante todo o período de armazenamento, segundo adaptação de metodologia descrita por Imsabai et al. (2006). No experimento 1, cada tratamento teve três repetições, sendo: T1/caixa 1 – 10 cachos com 4 frutos cada totalizando 40 frutos; T1/caixa 2 – 10 cachos com 4 frutos e 3 cachos com 3 frutos totalizando 49 frutos; T1/caixa 3 – 9 cachos com 5 frutos cada totalizando 45 frutos; T2/caixa 1 – 10 cachos com 4 frutos cada totalizando 40 frutos; T2/caixa 2 – 9 cachos com 5 frutos cada totalizando 45 frutos; T2/caixa 3 – 1 cacho com 7 frutos, 3 cachos com 6 frutos, 2 cachos com 5 frutos e 3 cachos com 3 frutos totalizando 44 frutos. Para o experimento 2, montou-se uma “gaiola” para cada tratamento, com três cachos por “gaiola”.

A análise do despencamento natural baseou-se na porcentagem final dos frutos despencados no último dia de armazenamento.



Figura 6. Estrutura em “gaiola” montada para verificação do despencamento natural de frutos de tomate no cacho durante 12 dias de armazenamento.

3.3.5. Resistência ao despencamento

A análise de resistência ao despencamento foi feita a partir da adaptação da metodologia de “despencador mecanizado” (Figura 7), descrita por Cerqueira (2000). Foi medida a força necessária para causar a ruptura entre o fruto e o pedúnculo, em Newtons (N).

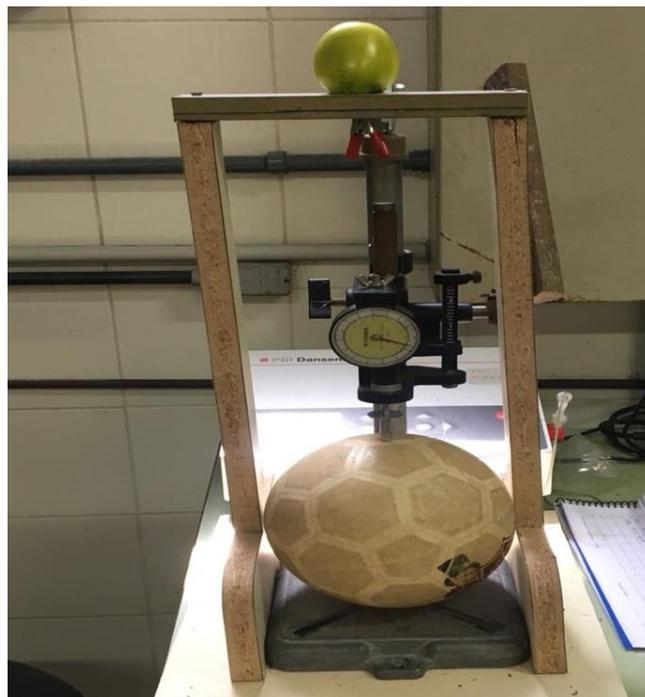


Figura 7. Despencador adaptado de Cerqueira (2000). Penetrômetro mede a força necessária para causar a ruptura da camada de abscisão.

3.3.6. Cor

A análise de cor instrumental foi realizada em três cachos por tratamento, sendo medida no maior e menor fruto de cada cacho no experimento 1 e nos dois maiores frutos do cacho no experimento 2. Os frutos avaliados foram marcados no primeiro dia de avaliação para posterior análise nos demais dias de armazenamento. Utilizou-se o colorímetro CHROMA METER CR-400 (Figura 4) e foram levados em consideração apenas os parâmetros de luminosidade (L^*) – que varia de 0 (preto puro) a 100 (branco puro), coordenada (a^*) – que representa a variação de cor entre verde (-60) e vermelho (+60) e o croma (C) – representando a saturação ou intensidade da cor para o experimento preliminar. Já no experimento principal, além dos parâmetros mencionados para o experimento preliminar, levou-se em consideração a cromaticidade b^* - que representa a variação de cor entre azul (-60) e amarelo (+60) e o valor h ou ângulo Hue (h^*) – que representa o ângulo de tonalidade da cor.

3.3.7. Sólidos Solúveis Totais

A análise de sólidos solúveis totais (SST) iniciou quando 80% dos frutos apresentaram coloração vermelha ou transicional, o que ocorreu a partir do 6º dia de armazenamento. Foram utilizados 3 cachos por tratamento em cada data de avaliação. Os quatro tomates de cada cacho foram processados, gerando 3 extratos por tratamento, em mixer marca Philips Walita e os extratos foram analisado em refratômetro digital ATAGO Pocket pal-1. A leitura foi feita pingando-se uma ou duas gotas do extrato no leitor do refratômetro e a leitura foi expressa em °Brix, segundo método descrito em International Standard ISO 2173:2003 (E).

3.3.8. Acidez Total Titulável

A análise de acidez total titulável (ATT) iniciou quando 80% dos frutos também apresentaram coloração vermelha ou transicional, no 6º dia de armazenamento. Foram utilizados 3 cachos por tratamento em cada data de avaliação onde os quatro tomates de cada cacho foram processados, gerando 3 extratos por tratamento, em mixer marca Philips Walita. A acidez total das amostras foi determinada através da titulação ácido-base com solução de NaOH 0,05N em titulador automático, conforme metodologia descrita pela International Standard ISO 750:1998 (E). Para a cultura do tomate, a acidez titulável é expressa em % de ácido cítrico, principal ácido orgânico presente no fruto.

3.3.9. Relação SST/ATT

A relação SST/ATT (Ratio) foi determinada matematicamente pelo quociente entre os valores de SST pelos valores de ATT, provenientes das amostras analisadas.

3.3.10. pH

A determinação do pH das amostras foi realizada antes de se iniciar a análise de acidez total titulável. O titulador automático realizou uma leitura inicial do pH da amostra antes de começar a titulação. A metodologia seguida é descrita no International Standard ISO 1842:1991 (E).

3.3.11. Microscopia Ótica da Zona de Abscisão

Para avaliação da zona de abscisão, foram colhidos cachos de tomate italiano cultivar BRS Nagai, também cultivados sob o sistema TOMATEC, em área comercial, no município de Tanguá – RJ, localizado a 22°43'45'' de latitude sul e 42°42'51'' de longitude oeste a 20m de altitude. A colheita dos mesmos foi padronizada com 3 frutos por cacho, no estágio verde maduro. Logo após a colheita, os cachos foram tratados da mesma forma descrita no experimento Principal e armazenados durante 19 dias, em condições ambiente ($23^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$ e $87 \pm 7\%$ UR). Os cachos foram transportados, em condições ambiente em caixas plásticas, até a Embrapa Agrobiologia, nos dias 2, 12 e 19 de armazenamento, onde realizou-se a avaliação da ZA por microscopia ótica, em três cachos por tratamento, sendo cada repetição representada por um cacho e aleatoriamente foi escolhido um fruto de cada cacho. Foram realizados cortes manuais, no sentido longitudinal, na região entre o pedúnculo e o pericarpo do fruto, na qual encontra-se a zona de abscisão (Figura 8).

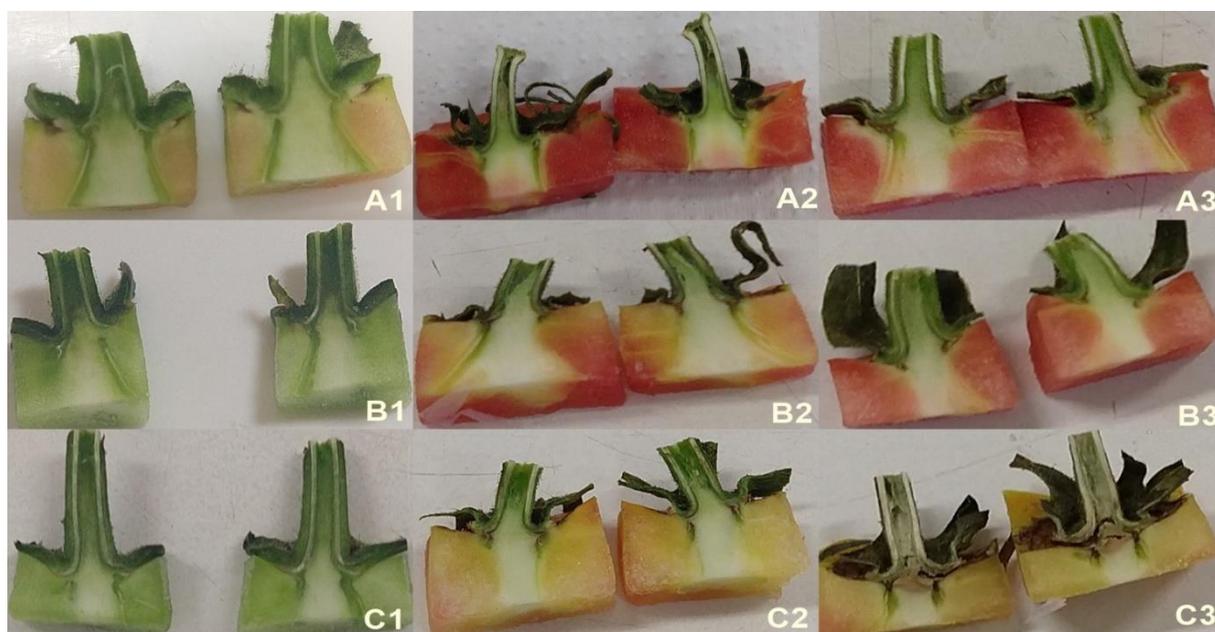


Figura 8. Corte longitudinal da região entre o pedúnculo e o pericarpo para verificação da zona de abscisão por microscopia ótica em tomate cv. BRS Nagai armazenado em cacho durante 19 dias. (A1) controle - 2 dias de armazenamento; (A2) controle - 12 dias de armazenamento; (A3) controle - 19 dias de armazenamento; (B1) GA₃ - 2 dias de armazenamento; (B2) GA₃ - 12 dias de armazenamento; (B3) GA₃ - 19 dias de armazenamento; (C1) GA₃ + Etileno - 2 dias de armazenamento; (C2) GA₃ + Etileno - 12 dias de armazenamento; (C3) GA₃ + Etileno - 19 dias de armazenamento.

Em seguida, realizou-se corte histológico em sentido longitudinal, de forma manual, priorizando a menor espessura possível para preparo das lâminas com lamínula e adição de uma gota de água destilada, segundo adaptação da metodologia descrita por Chovanec et al. (2008). As observações foram realizadas em Microscópio Ótico Axioplan Zeiss e as imagens registradas pelo programa Axiovision rel. 4.6.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Experimento 1

Não houve interação significativa entre os tratamentos e os períodos de avaliação para nenhuma das características avaliadas no experimento preliminar. A perda de massa fresca (%), firmeza instrumental (N), luminosidade (L^*), coordenada de cromaticidade a^* e croma (C^*) apresentaram significância apenas para o período de avaliação segundo o teste F.

Ambos os tratamentos apresentaram aumento nos valores de perda de massa fresca dos frutos dos cachos durante os 15 dias de armazenamento (Figura 10A). Kohatsu (2007) observou que, o tratamento pré-colheita de melão rendilhado ‘Galileu’ com 100 mg.L^{-1} de GA_3 , por meio de pulverizador manual, proporcionou menores valores de perda de massa fresca durante 20 dias de armazenamento em condições ambiente.

Para a firmeza, pode-se observar tendência linear (Figura 10B) e declínio dos valores durante as datas de armazenamento. Tal comportamento é esperado para tal característica pois se relaciona de forma inversa com a perda de massa fresca. Steffens et al. (2011), verificou que a aplicação de 100 mg.L^{-1} de GA_3 em frutos de ameixa proporcionou maiores valores de firmeza de polpa (28,20 N) em comparação com o controle (20,90 N).

Ao decorrer do amadurecimento dos frutos, ocorre degradação da parede celular e, conseqüente perda de firmeza, facilitando a perda de água contida no fruto pela transpiração, ocasionando maior perda de massa fresca em conseqüência (KOHATSU, 2007).

Em relação ao desenvolvimento de coloração da casca durante o período de armazenamento, os resultados de luminosidade L^* , coordenada de cromaticidade a^* e croma C^* não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos

($p < 0,05$). Como foi observado por Ferri et al. (2004), a aplicação pré-colheita de 30 mg.L^{-1} de GA_3 retardou a maturação de frutos de caqui cv. Fuyu em aproximadamente 20 dias, retardando a diminuição do conteúdo de clorofila dos frutos e conseqüentemente retardando a evolução da coloração externa. Tal comportamento não pode ser observado nos resultados obtidos no experimento preliminar.

Lizardo (2017) preconiza que tomates com valores médios baixos para luminosidade apresentam uma coloração mais escura de casca de frutos, indicando estágio de amadurecimento mais avançado. Tal comportamento pode ser observado para os valores de luminosidade (L^*), para ambos os tratamentos, no decorrer dos 15 dias de armazenamento (Figura 9C).

Para o parâmetro coordenada de cromaticidade a^* , o aumento nos valores médios era esperado à medida que a coloração da casca passava de verde (valores negativos) para vermelho (valores positivos), como pode ser observado na Figura 9D abaixo. Tal variação é consequência da síntese de licopeno e redução da clorofila durante o amadurecimento dos frutos (CARVALHO et al., 2005).

Os valores obtidos para o parâmetro croma (C^*) apresentaram acréscimo durante todo o período de armazenamento de frutos em cacho para ambos os tratamentos e representam a saturação da coloração. Tal comportamento era esperado e a maior saturação foi observada no 15º dia, para a coloração vermelha, em ambos os tratamentos (Figura 9E). A presença de pigmentos responsáveis por diferentes colorações em tomate durante o amadurecimento faz com que o parâmetro croma não seja o melhor indicador para o grau de amadurecimento dos frutos (LÓPEZ CAMELO & GÓMEZ, 2004).

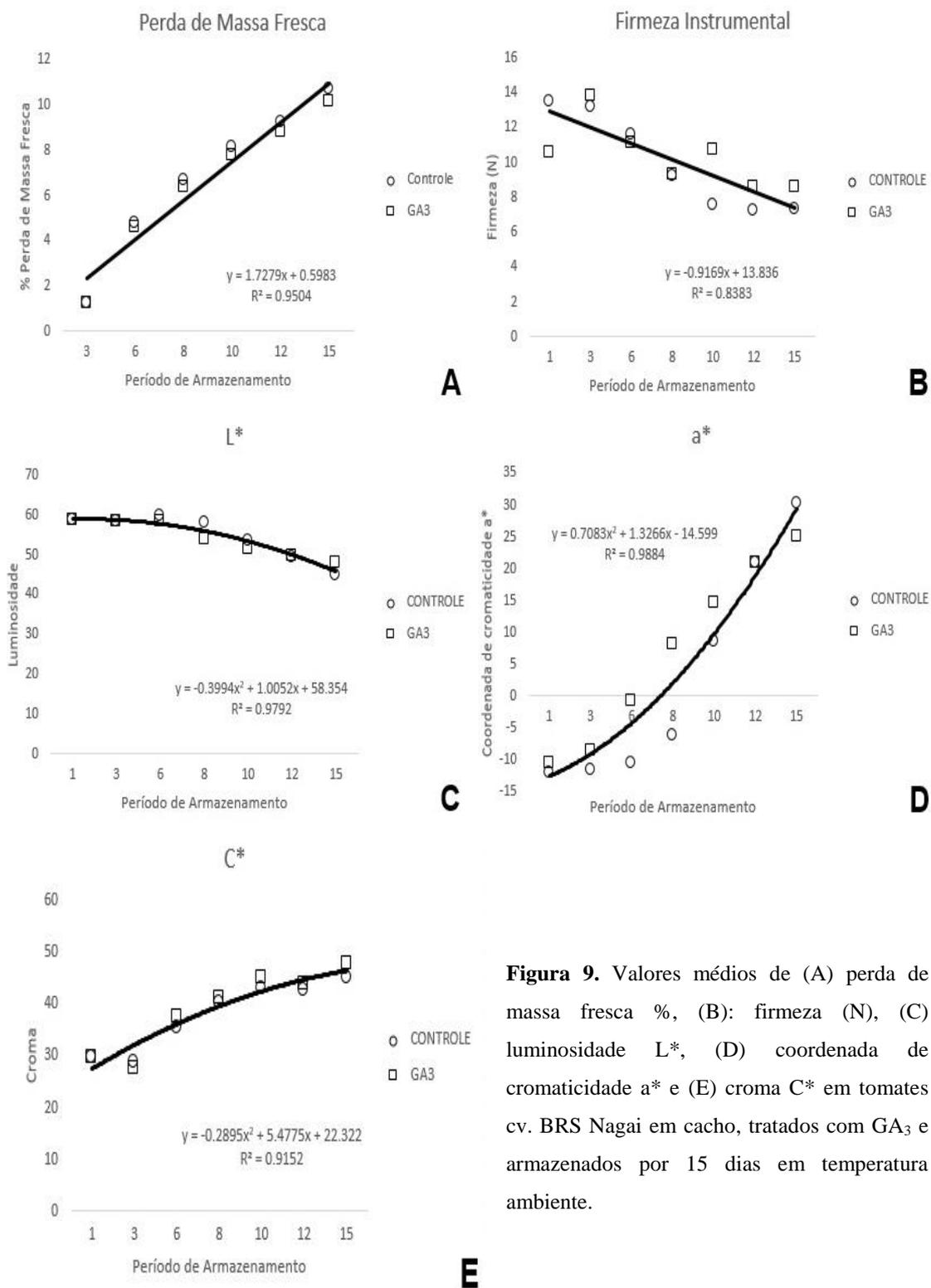


Figura 9. Valores médios de (A) perda de massa fresca %, (B): firmeza (N), (C) luminosidade L*, (D) coordenada de cromaticidade a* e (E) cromia C* em tomates cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA₃ e armazenados por 15 dias em temperatura ambiente.

Quanto à retenção de frutos, cachos tratados com 90 mg.L⁻¹ de GA₃ apresentaram 0,68% de frutos despencados (1 fruto) enquanto o controle apresentou valores de 2,26% (3 frutos), ainda no primeiro dia. Esse despencamento precoce em ambos os tratamentos pode estar relacionado com o

manuseio dos cachos durante a montagem das “gaiolas”. Até o 12º dia não houveram frutos despencados em ambos os tratamentos. No 15º dia o controle atingiu valores de 3,77% de frutos despencados (5 frutos) enquanto cachos tratados com GA₃ apresentaram 1,36% de frutos despencados (2 frutos) (Figura 10).

A aplicação pós-colheita de 90 mg.L⁻¹ de GA₃, por borrifação direcionada, não influenciou significativamente nos resultados para despencamento natural de frutos em tomate no cacho em comparação com o controle, assim como o período de armazenamento (p<0,05).

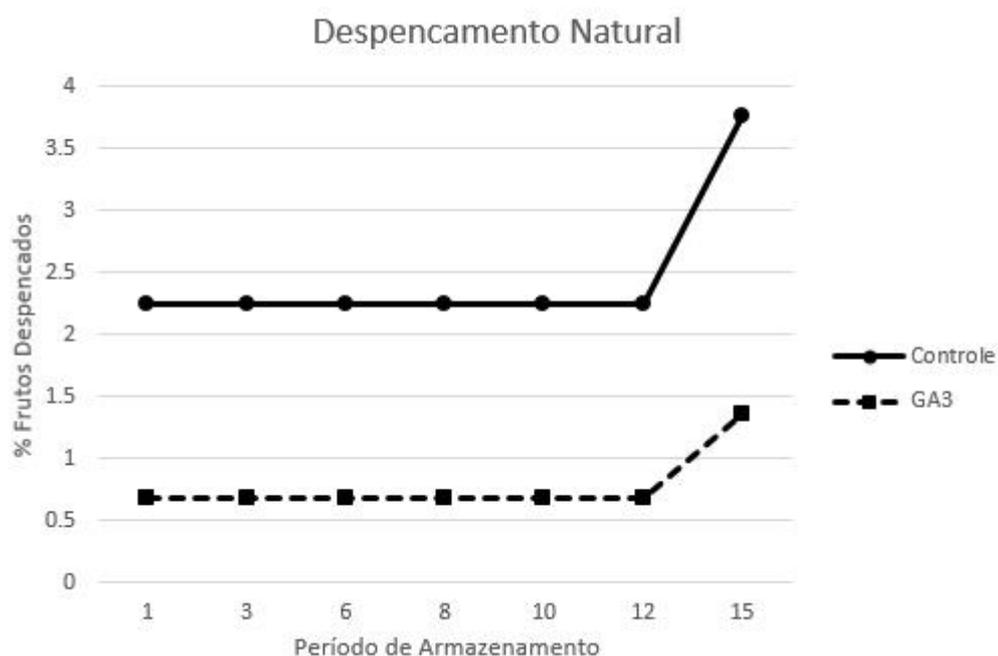


Figura 10. Valores médios de despencamento natural (%) em cachos de tomate cv. BRS Nagai tratados com GA₃ e armazenados durante 15 dias em temperatura ambiente.

Ao tratar frutos de caqui, em pré-colheita, com 100 mgL⁻¹ de GA₃ e posterior ensacamento, Docema (2016) verificou que as cvs. Fuyu e Giombo apresentaram 48,6% e 26,02% de frutos despencados respectivamente enquanto que o tratamento com frutos apenas ensacados os valores foram 71,98% e 43,04% respectivamente. Segundo o mesmo autor, para a cv. Rama-Forte, a dose de 25mgL⁻¹ de GA₃ foi eficiente na fixação, apresentando 39,47% de frutos despencados quando comparado com os tratamentos sem aplicação do regulador que apresentou 59,83% de despencamento.

Os resultados obtidos no experimento preliminar indicam que a aplicação em pós-colheita, de 90 mg.L⁻¹ de GA₃, via borrifação direcionada, não influenciou de forma significativa para nenhuma das características avaliadas. Também foi possível observar que a maturação dos frutos, dentro de um mesmo cacho, não ocorre de forma homogênea, resultando em frutos com coloração vermelha, transicional e, em alguns casos, verde.

4.2. Experimento 2

Para as características avaliadas no experimento final apenas a firmeza instrumental (N), resistência ao despencamento (N), coordenada de cromaticidade a* e pH apresentaram interação significativa entre os tratamentos aplicados e as datas de armazenamento.

4.2.1. Perda de Massa Fresca

Os resultados para perda de massa fresca dos cachos não apresentaram interação significativa entre os tratamentos e o período de armazenamento (Figura 11), indicando que a PMF está relacionada com a perda de água via transpiração e perda de matéria seca via processo respiratório (NILSSON, 2000), fisiologicamente normal durante o armazenamento de tomate. Rinaldi et al., (2011) afirma que maiores temperaturas de armazenamento de produtos vegetais ocasionam em maior taxa respiratória e conseqüentemente maior transpiração e perda de massa fresca.

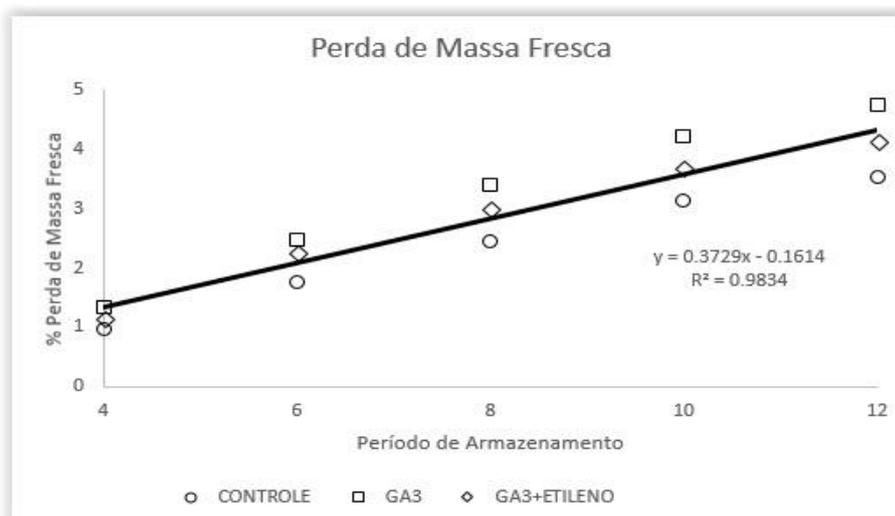


Figura 11. Valores médios de perda de massa fresca (%) em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.

Aquino et al., (2016) ao tratar, buquê com 3 frutos, de banana ‘Maçã’, com doses crescentes de GA₃, verificaram que a aplicação de 25 e 50 mgL⁻¹ proporcionou menores valores para perda de massa enquanto que o tratamento com a maior dose, 100mgL⁻¹, proporcionou maiores perdas juntamente com o controle.

4.2.2. Firmeza

Foram observadas diferenças significativas de firmeza nos frutos sob os diferentes tratamentos. O tratamento com GA₃ + Etileno apresentou maiores valores no primeiro dia de avaliações (12,12N), sendo estatisticamente diferente dos tratamentos controle (10,63N) e GA₃ (10,96 N), que não diferiram entre si ($P < 0,05$). O mesmo comportamento foi observado no quarto dia de armazenamento. Já no sexto dia, o tratamento com GA₃ apresentou valores estatisticamente superiores aos demais tratamentos, apresentando 11,89N de firmeza enquanto o controle 7,99N e GA₃ + Etileno 9,02N, como pode ser observado na Tabela 1 abaixo. A partir do oitavo dia de armazenamento não houve diferença estatística entre os tratamentos empregados, estando os valores de firmeza relacionados com o processo natural de amadurecimento e amolecimento dos frutos de tomateiro (Figura 12).

Tabela 1. Valores médios de firmeza instrumental (N) em tomates cv. BRS Nagai em cachos, tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente

Tratamento	Período de Armazenamento					
	2	4	6	8	10	12
Controle	10,63 b	10,52 b	7,99 b	8,59 a	7,76 a	6,85 a
GA ₃	10,96 b	11,09 b	11,89 a	9,47 a	8,45 a	7,96 a
GA ₃ +Etileno	12,12 a	12,51 a	9,02 b	7,92 a	8,06 a	8,38 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (0,05).

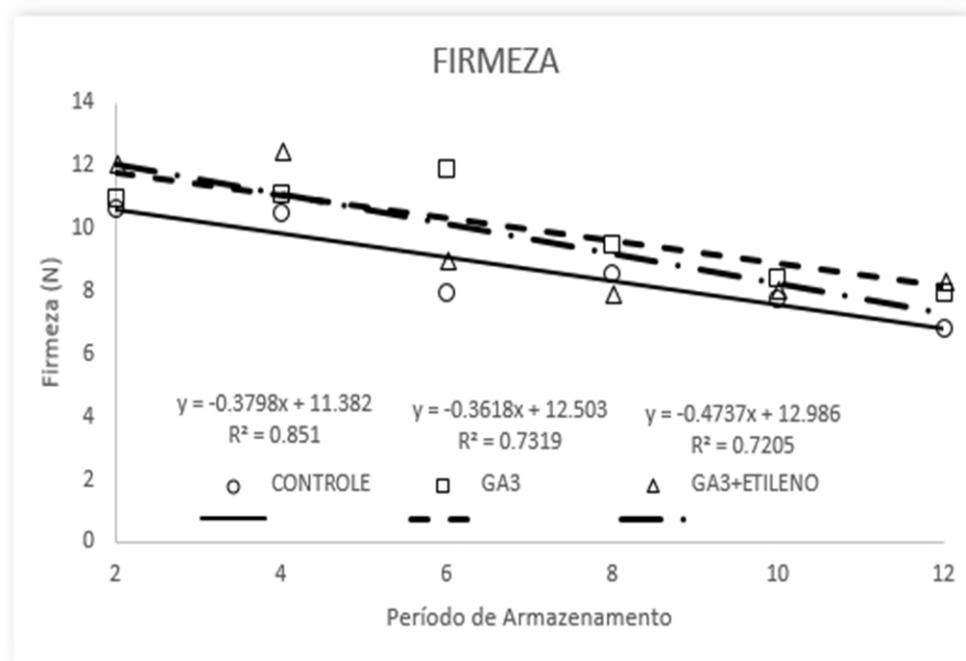


Figura 12. Valores médios de firmeza instrumental em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.

Lima et al. (2015), ao aplicar 200 mg.L⁻¹ de GA₃ em bananas ‘Grande Naine’, em diferentes períodos de formação do cacho, verão e outono, verificaram que o GA₃ teve influência significativa para firmeza de frutos, quando aplicado no verão, em comparação com o controle que recebeu apenas água, com valores de 14,89 N e 10,04 N respectivamente. Os autores também observaram que, a aplicação na mesma concentração do regulador vegetal durante o outono não apresentou diferença estatística em relação ao controle, apresentando valores de 13,19 N e 10,85 N respectivamente.

Durante o amadurecimento de frutos, a perda de firmeza está relacionada com o decréscimo da concentração de pectinas solúveis e degradação da parede celular primária e da lamela média (GIONGO et al., 2013), ocasionado pelo enfraquecimento das ligações entre os componentes da parede celular, diminuindo o turgor celular e favorecendo a perda de água (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

4.2.3. Atividade Enzimática

A atividade das enzimas PME e PG foram avaliadas na camada de abscisão de tomate no décimo segundo dia de armazenamento dos cachos. Pode-se observar na Tabela 2 abaixo que o tratamento com GA₃ + Etileno proporcionou menores valores para atividade da PME no décimo segundo dia de armazenamento dos cachos, diferindo

estatisticamente dos outros tratamentos. Supõe-se que a aplicação de GA₃ retardou a ação da enzima nos estádios anteriores de amadurecimento dos frutos, proporcionando maior quantidade de substrato, pectinas esterificadas, quando os frutos atingiram o estágio maduro, ocasionando alta atividade no final do armazenamento. Tal fato pode ser confirmado pela manutenção da firmeza dos frutos, que foi estatisticamente superior em estádios anteriores do amadurecimento.

O contrário pode ser observado para o tratamento com GA₃ + Etileno que apresentou a menor atividade de PME após 12 dias de armazenamento dos cachos. Ao que indica, a ação do etileno favoreceu a atividade da PME em estádios iniciais do amadurecimento, ocasionando em menor quantidade de substrato, pectinas metilesterificadas, para ação da enzima no final do período de armazenamento.

Para atividade da PG, não houve diferença estatística entre os tratamentos empregados. Tal comportamento se confirma com os resultados de firmeza instrumental dos frutos, onde não houve diferença estatística significativa entre os tratamentos no 12º dia de armazenamento.

Em concordância com o que foi observado, Resende et al. (2004) verificou que o híbrido de tomate multilocular H7 e a testemunha também apresentaram alta atividade da PME, porém ação reduzida da PG. Os autores relacionam tal comportamento com a ligação de grupos carboxílicos de carga negativa ao longo da cadeia de pectina, oriundos da desmetilação pela ação da PME, com íons Ca⁺² que se encontram livre. No decorrer do amadurecimento, a atuação da PME resulta em grupos carboxílicos com cargas negativas (COO⁻¹), proporcionando redução no grau de esterificação e aumentando a densidade de cargas negativas ao longo da cadeia da pectina, aumentando a afinidade da mesma por ligações com Ca⁺². Tal ligação ocasiona o impedimento da ação da PG.

Tabela 2. Valores médios de atividade enzimática da pectinametilesterase (PME) e poligalacturonase (PG) em tomates cv. BRS Nagai em cachos, tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno no 12º dia de armazenamento em temperatura ambiente

Tratamento	PME (nmol.g ⁻¹ .min ⁻¹)	PG (nmol.g ⁻¹ .min ⁻¹)
Controle	866,20 a	0,29 a
GA ₃	1005,52 a	0,25 a
GA ₃ + Etileno	636,02 b	0,31 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (0,05).

Os genes da PG são transcricionalmente ativados durante o amadurecimento e o seu mRNA é de grande abundância em frutos maduros. Tais informações sugerem que os genes da PG, e até mesmo outros genes envolvidos no amolecimento de frutos, podem ser regulados pela ação do etileno (DELLAPENNA et al. 1989; MONTGOMERY et al. 1993).

De acordo com o levantamento bibliográfico feito por Tucker et al. (2017), até a década de 90 havia discordância sobre a influência ou não do etileno na síntese da PG, porém Nicholass et al. (1995) detalharam toda a estrutura da região promotora da PG, indicando que a mesma é regulada pelo etileno.

4.2.4. Despencamento Natural

Para a avaliação do despencamento natural de frutos, pode ser observado na figura 13 abaixo que tanto o Controle quanto o tratamento com GA₃ + Etileno apresentaram frutos despencados a partir do sexto dia de armazenamento, com 8,33% e 16,67% de frutos despencados respectivamente. Pode-se observar também que o tratamento com GA₃ favoreceu a retenção de frutos no cacho, iniciando o despencamento apenas no oitavo dia, com 8,33%. Após 12 dias de armazenamento, o controle apresentou 58,33%, GA₃ apenas 25% e GA₃ + Etileno com 50% dos frutos despencados.

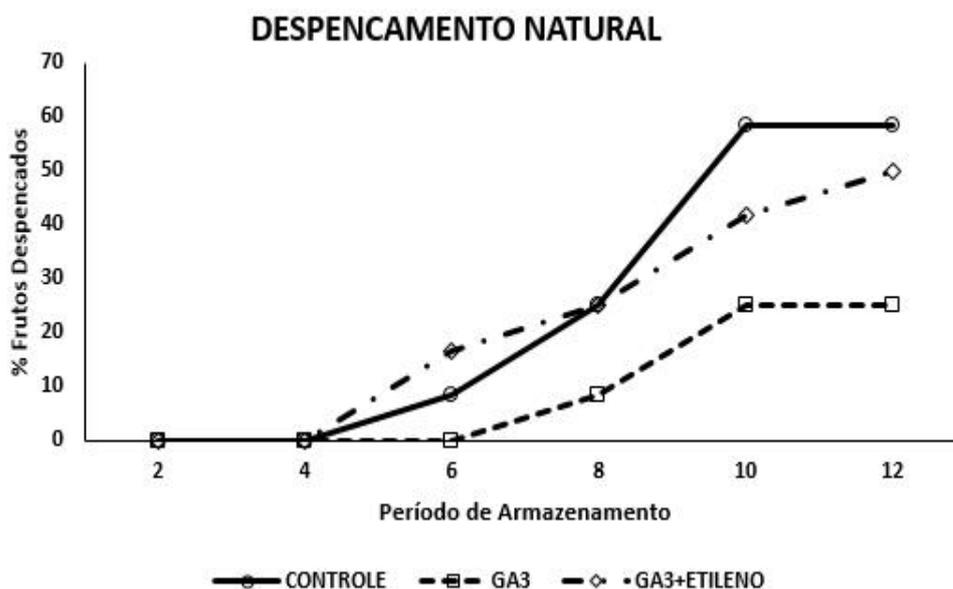


Figura 13. Porcentagem de frutos despencados (%) em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.

4.2.5. Resistência ao Despencamento

Quanto a resistência ao despencamento, houve interação significativa entre os tratamentos e o período de armazenamento. Tal característica apresentou tendência de queda dos valores durante todo o período avaliado em todos os tratamentos (Figura 14) porém não houve diferença estatística entre os tratamentos em todas as datas, com comportamento oscilatório durante o armazenamento (Tabela 3). A partir do décimo dia de armazenamento o tratamento com GA₃ + Etileno apresentou queda substancial nos valores de resistência ao despencamento, podendo estar relacionado com o sistema regulatório de etileno, onde, durante o amadurecimento de frutos climatéricos, a síntese de etileno é auto catalítica.

Tabela 3. Valores médios de resistência ao despencamento (N) em tomate cv. BRS Nagai em cachos, tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente

Tratamento	Período de Armazenamento					
	2	4	6	8	10	12
Controle	16,75 a	15,28 a	9,36 a	8,34 a	9,92 a	7,46 a
GA ₃	16,96 a	15,81 a	7,89 a	10,13 a	7,89 a	8,66 a
GA ₃ +Etileno	16,14 a	16,47 a	9,10 a	11,56 a	5,84 a	4,66 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (0,05).

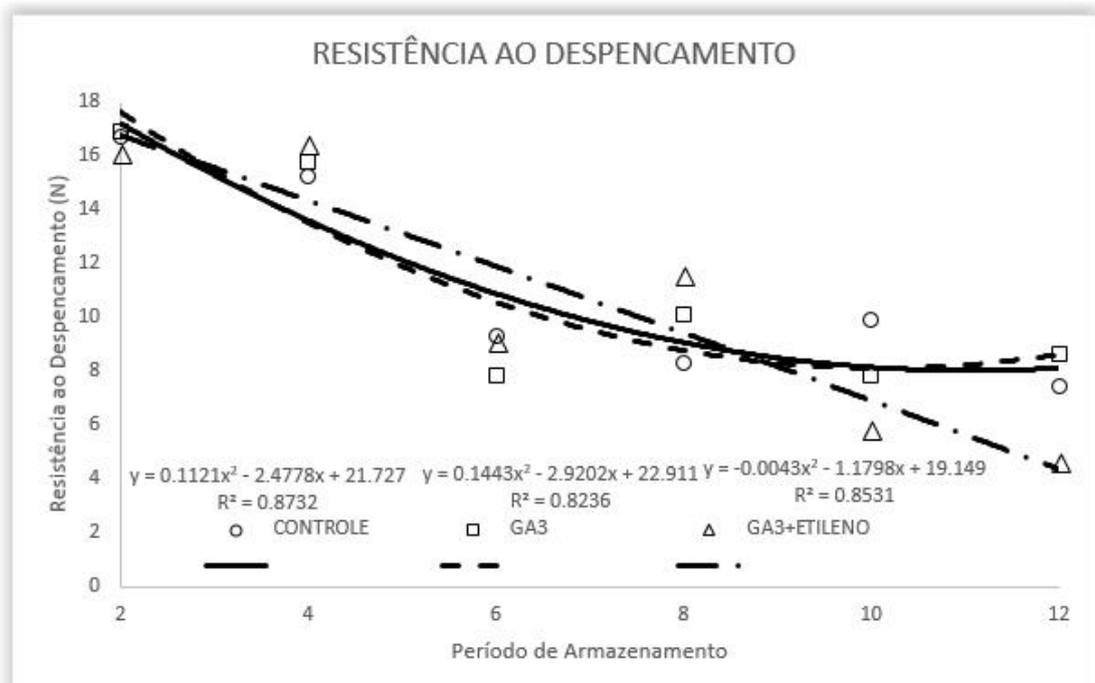


Figura 14. Valores médios para resistência ao despencamento (N) em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.

García-Rojas et al. (2018) observaram que uvas tratadas com GA₃ apresentaram maior força de desprendimento entre o pedicelo e as bagas, tanto na variedade Thompson Seedless quanto para variedade Line #23, do que os cachos controle. Os autores verificaram que a medição da força necessária para o rompimento apresentou decréscimo durante o armazenamento para as duas variedades, com valores superiores para cachos tratados com GA₃ em todas as avaliações, levantando a hipótese de que o tratamento com GA₃ proporciona aumento na rigidez do pedicelo, sendo necessária maior força para o desprendimento.

4.2.6. Cor

A alteração na coloração da casca é o principal indicativo do processo de amadurecimento em frutos de tomateiro (Ballester et al., 2010). Durante o período de armazenamento dos cachos, foi possível observar diferenças na coloração de casca dos frutos em todos os tratamentos (Figura 15).

Porém, para os parâmetros de coloração avaliados, apenas a coordenada de cromaticidade a* apresentou interação significativa entre os tratamentos e o período de armazenamento. A coloração vermelha em tomate é representada pelos valores da coordenada a*, com alteração de coloração verde (-60) para vermelho (+60) (Q. Wu et al., 2018).

Todos os tratamentos apresentaram incremento gradual dos valores de coordenada a* e tonalidade vermelha dos frutos durante o armazenamento (Figura 16). Até o 4º dia não houve diferença significativa entre os tratamentos empregados, mas a partir do 6º dia de armazenamento, verifica-se que o Controle apresentava frutos iniciando a alteração de coloração, enquanto cachos tratados somente com GA₃ apresentavam coloração predominantemente esverdeada, diferindo estatisticamente do tratamento Controle ($p < 0,05$) (Tabela 4). Cachos tratados com GA₃ + Etileno também apresentavam frutos com coloração transicional, mas não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos. No 8º dia, o tratamento com GA₃, diferiu significativamente dos cachos Controle, apresentando valores de 22,40 e 26,65 para coordenada de cromaticidade a*, respectivamente. Já cachos tratados com GA₃ + Etileno apresentaram valor médio de 23,39, não diferindo significativamente dos demais tratamentos. Ao que indica, a aplicação pós-colheita de 90 mg.L⁻¹ de GA₃ favoreceu a manutenção da coloração verde em tomates armazenados em cacho, até certo ponto, sendo superada

pela produção auto catalítica do etileno, que ocorre durante o amadurecimento de frutos climatéricos após o pico climatérico (CHITARRA & CHITARRA, 2005).

Do 10º dia em diante os tratamentos não apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) (Tabela 4).



Figura 15. Desenvolvimento de coloração de casca em tomate cv. BRS Nagai em cacho aos 2, 4, 6, 8, 10 e 12 dias de armazenamento em temperatura ambiente. (A) Controle, (B) GA_3 e (C) GA_3 + Etileno.

Tabela 4. Valores médios de coordenada de cromaticidade a* em tomate cv. BRS Nagai em cachos, tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente

Tratamento	Período de Armazenamento					
	2	4	6	8	10	12
Controle	-9,36 a	3,50 a	19,92 a	26,65 a	29,82 a	29,89 a
GA ₃	-11,06 a	-7,54 a	4,77 b	22,40 b	25,36 a	28,21 a
GA ₃ +Etileno	-10,39 a	-3,27 a	13,90 ab	23,39 ab	26,25 a	27,09 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (0,05).

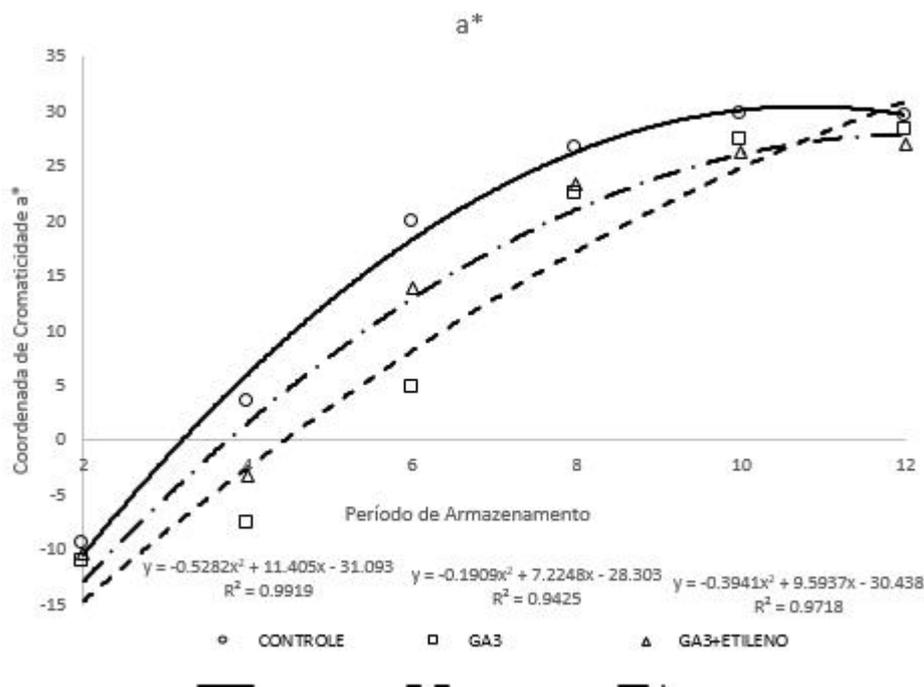


Figura 16. Valores de coordenada de cromaticidade a* em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.

Ferri et al. (2004) verificaram que o tratamento com 30 mg.L⁻¹ de GA₃ em caqui proporcionou coloração verde-amarelada da casca 35 dias após aplicação enquanto o controle já se encontrava apto para o consumo com coloração amarelo avermelhada. Os autores ainda verificaram que somente aos 55 dias após aplicação, os frutos tratados com GA₃ apresentaram coloração apta ao consumo. A manutenção da coloração da casca por aplicação de GA₃ também foi observada em pêsego (AMARANTE et al., 2005).

O etileno também apresenta forte influência sobre a coloração de casca em tomate durante o armazenamento. Ao estudar o efeito sinérgico entre etileno e ácido abscísico (ABA). WUA et al. (2018) aplicou 25 µL de ABA à 10mM em dois grupos de tomate armazenados durante 14 dias à 20°C e 90% UR. Em um dos grupos também

foi aplicado $4 \mu\text{L.L}^{-1}$ de 1-MCP (1-metilciclopropeno), inibidor da ação do etileno, por 4 horas. Pode-se verificar que o tratamento apenas com ABA acelerou o desenvolvimento da coloração e também acelerou o pico climatérico de etileno nos frutos em comparação com o controle. Todavia, a aplicação ABA + 1-MCP garantiu menores valores para coordenada a^* e garantiu maior conteúdo de clorofila durante todo o período armazenado, indicando que apesar do ABA também apresentar influência no desenvolvimento de coloração, a característica é diretamente regulada pela ação do etileno.

No presente trabalho, também foi observado que em cachos tratados apenas com GA_3 , alguns frutos não atingiram coloração totalmente vermelha dentro do mesmo cacho, após 12 dias de armazenamento, indicando que o tratamento foi eficiente em retardar a maturação e desenvolvimento de coloração, porém de maneira irregular. De acordo com Awad et al. (1975), tal heterogeneidade de coloração pode estar relacionada à pequenas diferenças na idade fisiológica dos frutos, as quais o tratamento com 90 mg.L^{-1} de GA_3 não conseguiu superar. Os mesmos autores também verificaram o mesmo comportamento heterogêneo em tomates tratados com 50 e 100 mg.L^{-1} de GA_3 . Verificaram também que a aplicação de ethephon, nas concentrações de 1000 e 2000 mg.L^{-1} , em diferentes tempos de imersão dos frutos (1, 5 e 10 minutos) foi eficiente em acelerar o processo de amadurecimento e alteração na coloração da casca, com diminuição da cor verde e incremento de coloração vermelha dos frutos em comparação com o controle.

Os demais parâmetros de coloração da casca avaliados durante o armazenamento, como: luminosidade (L), coordenada de cromaticidade b^* , croma (C^*) e ângulo Hue (valor h°) foram influenciados apenas pelo período de armazenamento, não havendo interação significativa entre tratamento e período ($p < 0,05$).

Os valores de luminosidade apresentaram comportamento esperado em todos os tratamentos, com decréscimo durante o período de armazenamento (Figura 17A). Segundo Lizardo (2017), a diminuição dos valores médios para luminosidade em tomates ocorre de forma natural devido ao processo de amadurecimento, onde apresentam uma coloração mais escura de casca de frutos, indicando estágio de amadurecimento mais avançado. A partir do 6º pode-se perceber decréscimo significativo para todos os tratamentos, indicando que não houveram alterações significativas na luminosidade dos frutos enquanto a coloração verde era predominante

(LÓPEZ CAMELO & GÓMEZ, 2004). Todos os tratamentos apresentaram os menores valores para luminosidade no 12º dia, onde havia predominância de frutos vermelhos nos cachos.

A coordenada de cromaticidade b^* é um parâmetro que sofre pouca variação durante o amadurecimento de tomate pois está relacionado com a variação de azul (valores negativos) para amarelo (valores positivos). Pode ser observado na Figura 17B que todos os tratamentos apresentaram os maiores valores observados no 6º dia, indicando que nesse período ocorria a transição da coloração de casca nos frutos. Do 8º dia em diante todos os tratamentos apresentaram decréscimo nos valores da coordenada de cromaticidade b^* , sendo a coloração amarela mascarada pela síntese de licopeno.

A avaliação dos valores de croma permitem definir a saturação da coloração de casca em frutos de tomateiro. Todos os tratamentos apresentaram tendência de acréscimo para os valores de croma durante o período de armazenamento. A maior saturação pode ser observada para os tratamentos com GA_3 e GA_3 + Etileno no 12º dia, na coloração vermelha. O tratamento controle apresentou maior valor de croma no 10º dia, apresentando leve decréscimo no 12º, mas não diferindo estatisticamente dos demais tratamentos (Figura 17C). Alguns autores preconizam que o croma não é um bom indicador do grau de amadurecimento em frutos de tomate, pois durante o processo de amadurecimento os frutos apresentam diferentes cores de forma simultânea, relacionados com os processos de degradação de clorofilas e síntese de carotenoides (LÓPEZ CAMELO & GÓMEZ, 2004; LIZARDO, 2017).

Os valores de ângulo Hue (h), que expressam a tonalidade da cor, também apresentaram comportamento esperado durante o período de armazenamento. Valores na faixa de 180º a 90º representam tonalidade verde, podendo ser observado até o 4º dia de armazenamento para os tratamentos GA_3 e GA_3 + Etileno (Figura 17D). Entretanto, valores de Hueº próximos à 90º indicam coloração amarela, onde o Controle já apresentava valores próximos de 80º no 4º dia, indicando desenvolvimento de coloração transicional. A tendência de decréscimo dos valores médios para tal característica era esperada pois a tonalidade vermelha se dá na faixa entre 90º e 0º, quanto mais próximo de 0º mais vermelho o fruto se encontra (VIEIRA, 2016). Dessa forma, os menores valores de Hueº foram observados no 12º dia de armazenamento, indicando coloração predominantemente vermelha para frutos de todos os tratamentos.

Segundo Pech et al. (1994), a aplicação de GA₃ atua inibindo a ação de clorofilases e síntese de etileno, retardando o desenvolvimento e perda de coloração esverdeada, porém sem demonstrar como o fitormônio atua nas vias bioquímicas.

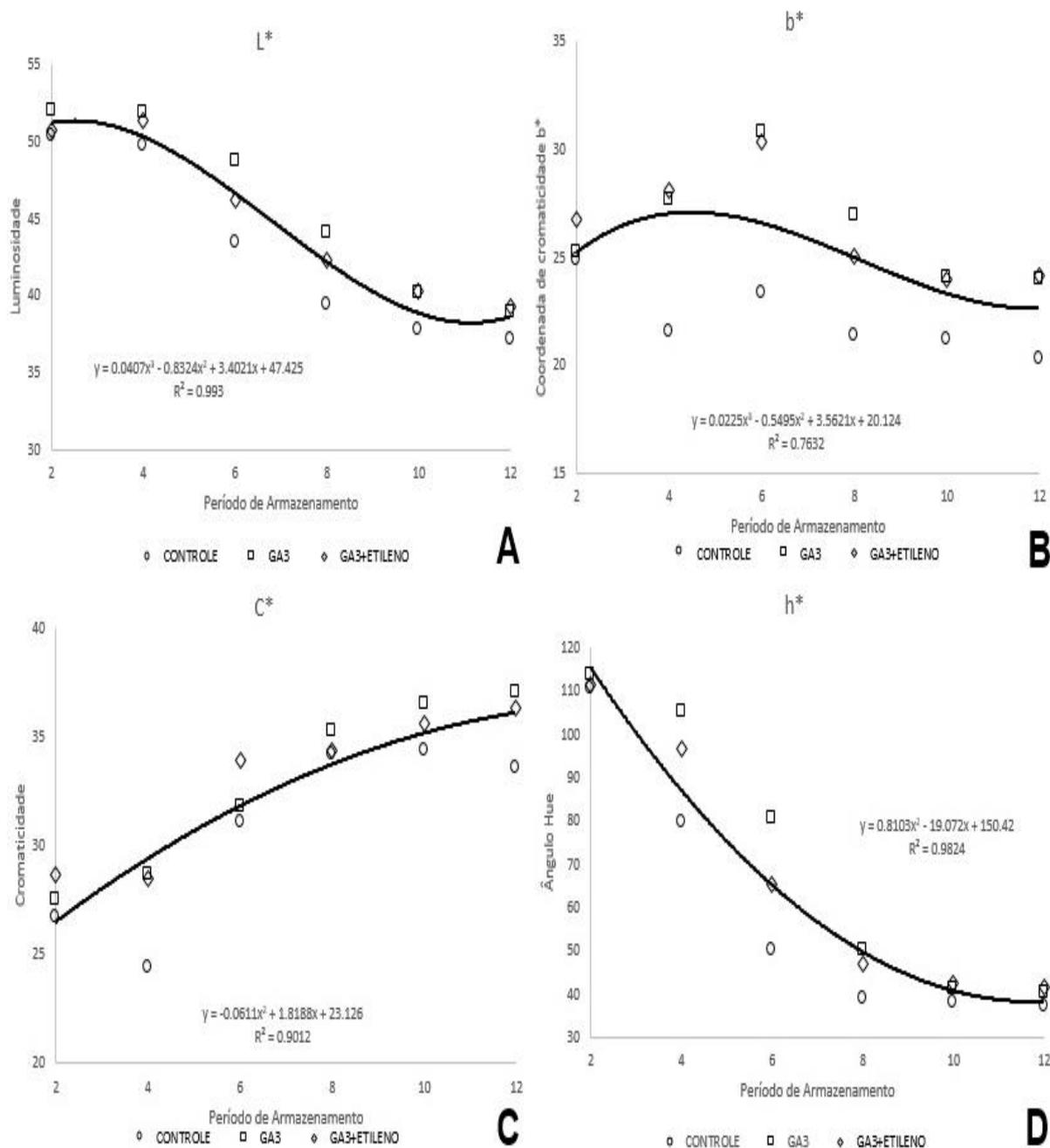


Figura 17. Valores médios de (A) luminosidade L*, (B) coordenada de cromaticidade b*, (C) cromata C* e (D) ângulo Hue (valor h°) em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.

4.2.7. Análise química

Dentre as características químicas avaliadas, o pH foi a única a apresentar interação significativa entre os tratamentos e o período de armazenamento. O Controle

apresentou decréscimo nos valores de pH durante todo o período avaliado, sendo que o menor valor de 4,18 foi observado no décimo dia, diferindo significativamente dos demais tratamentos ($P < 0,05$). O tratamento com GA₃ apresentou acréscimo nos valores, sendo o maior valor de 4,28 no décimo dia de armazenamento. Já frutos tratados com GA₃ + Etileno apresentaram comportamento oscilatório durante todo o período avaliado, sendo que o menor valor de 4,24 foi observado no oitavo dia, onde não houve diferença estatística dos demais tratamentos e o maior valor de 4,30 foi observado no décimo dia (Tabela 5). Os valores de pH, para cachos tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno, não diferiram significativamente em nenhuma data avaliada (Figura 18).

Tabela 5. Valores médios de pH em tomate cv. BRS Nagai em cacho, tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente

Tratamento	Período de Armazenamento			
	6	8	10	12
Controle	4,26 a	4,21 a	4,18 b	4,22 a
GA ₃	4,21 a	4,21 a	4,28 a	4,25 a
GA ₃ +Etileno	4,28 a	4,24 a	4,30 a	4,25 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (0,05).

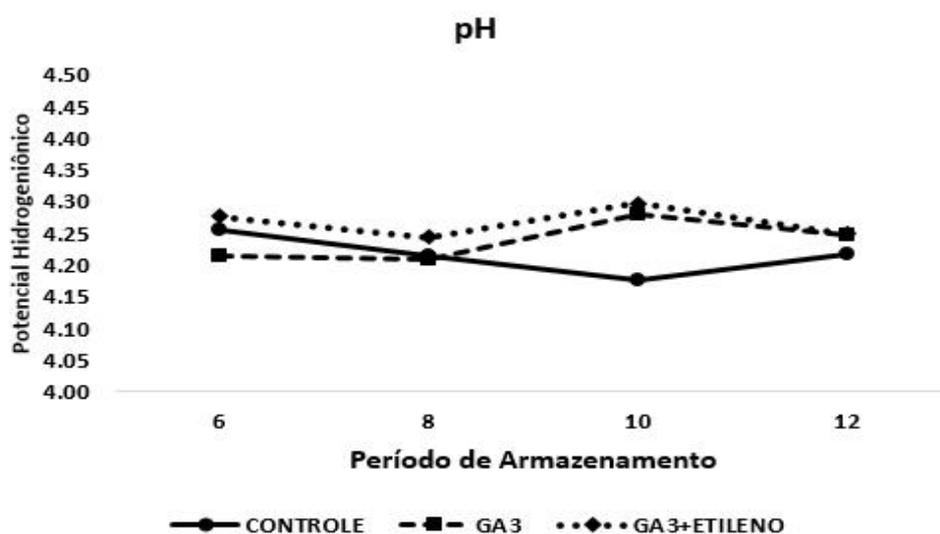


Figura 18. Valores médios de pH em tomate cv. BRS Nagai armazenados em cachos durante 12 dias, tratados com GA₃, GA₃ + Etileno.

Segundo Rinaldi et al. (2011), os valores de pH podem variar de acordo com as condições em que os frutos são armazenados, tendo influência direta sobre o sabor dos mesmos. Silva et al. (2004), é desejável que os frutos apresentem valores de pH

inferiores à 4,5 para redução da proliferação de microrganismos durante o armazenamento. Lee & Macmillan (1968) que tal atributo químico também influencia na atividade de algumas enzimas, como a PME, que apresenta máxima atividade em faixas elevadas de pH, favorecendo o amolecimento dos frutos e facilitando a entrada de patógenos.

As demais características químicas avaliadas não apresentaram interação significativa entre os tratamentos e o período de armazenamento. Observa-se na Tabela 6 que, ao final do armazenamento, os valores médios para SST, ATT e relação SST/ATT (ratio) não apresentaram diferença estatística significativa entre os tratamentos empregados ($P < 0,05$).

Tabela 6. Valores médios de SST, ATT e relação SST/ATT em tomate cv. Nagai em cacho, tratados com GA₃ e GA₃ + Etileno e armazenados durante 12 dias em temperatura ambiente.

Tratamentos	SST (°Brix)	ATT (g ác. Cítrico/ 100g amostra)	SST/ATT
Controle	5,46 a	0,43 a	13,73 a
GA₃	5,30 a	0,39 a	13,81 a
GA₃+Etileno	5,49 a	0,39 a	14,28 a

Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey (0,05).

Comportamento semelhante foi observado por Antunes et al. (2006), onde valores de SST em frutos de acerola também não sofreram influência significativa dos tratamentos com 50 e 100 mg.L⁻¹ de GA₃ quando comparados ao controle, com valores de 7,63°, 7,33° e 7,67° Brix respectivamente, durante 14 dias de armazenamento refrigerado.

Entretanto, ao aplicar doses crescentes de GA₃ em pré-colheita de tomate var. Golden, Kumar et al. (2014) verificaram diferença significativa entre a maior dose aplicada (50 mg.L⁻¹) em relação ao controle, com valores de 4,95° e 3,8° Brix respectivamente.

Ainda em concordância com o que foi observado no presente trabalho, Pereira et al. (2008) observaram que valores de SST em pimentas tratadas com 100 mg.L⁻¹ de ethephon em pós-colheita, cujo componente ativo libera etileno quando absorvido pelas células vegetais, não diferiram significativamente dos frutos controle em oito dos dez acessos avaliados no experimento.

Em concordância com o que foi observado no presente estudo, Kataoka et al. (2009) observaram que valores de ATT em frutos de tomate tratados, em pré-colheita, com 50 mg.L⁻¹ (0,48) e 100 mg.L⁻¹ (0,47) de GA₃ também não diferiram significativamente do tratamento controle (0,53), não sendo influenciado pela ação do GA₃.

4.2.8. Microscopia Ótica da Zona de Abscisão

Os frutos dos cachos tratados com GA₃ não apresentaram diferenciação celular aparente, na região de formação da ZA, no segundo dia de armazenamento, indicando que o tratamento foi eficaz em retardar a primeira fase da abscisão (Figura 19B). Já aqueles tratados com GA₃ + Etileno e os cachos do Controle apresentaram diferenciação celular, indicando a região de formação da ZA já no segundo dia de armazenamento, conforme pode ser observado nas Figuras 19A e 19C, respectivamente.

Após a diferenciação e divisão celular, Jarvis et al. (2003) afirmam que as pectinas sofrem processo de demetilesterificação em suas junções celulares e a separação celular proporciona a formação dos espaços intercelulares. O processo de demetilesterificação das pectinas é mediado pela ação da PME (WOLF et al., 2009), como já foi discutido no presente trabalho. Após tal processo, a pectina é degradada pela ação da PG, sendo responsável por alterações na textura e rigidez da parede celular e desempenhando papel fundamental no processo de separação celular e abscisão de órgãos vegetais (OGAWA et al., 2009; SENECHAL et al., 2014).

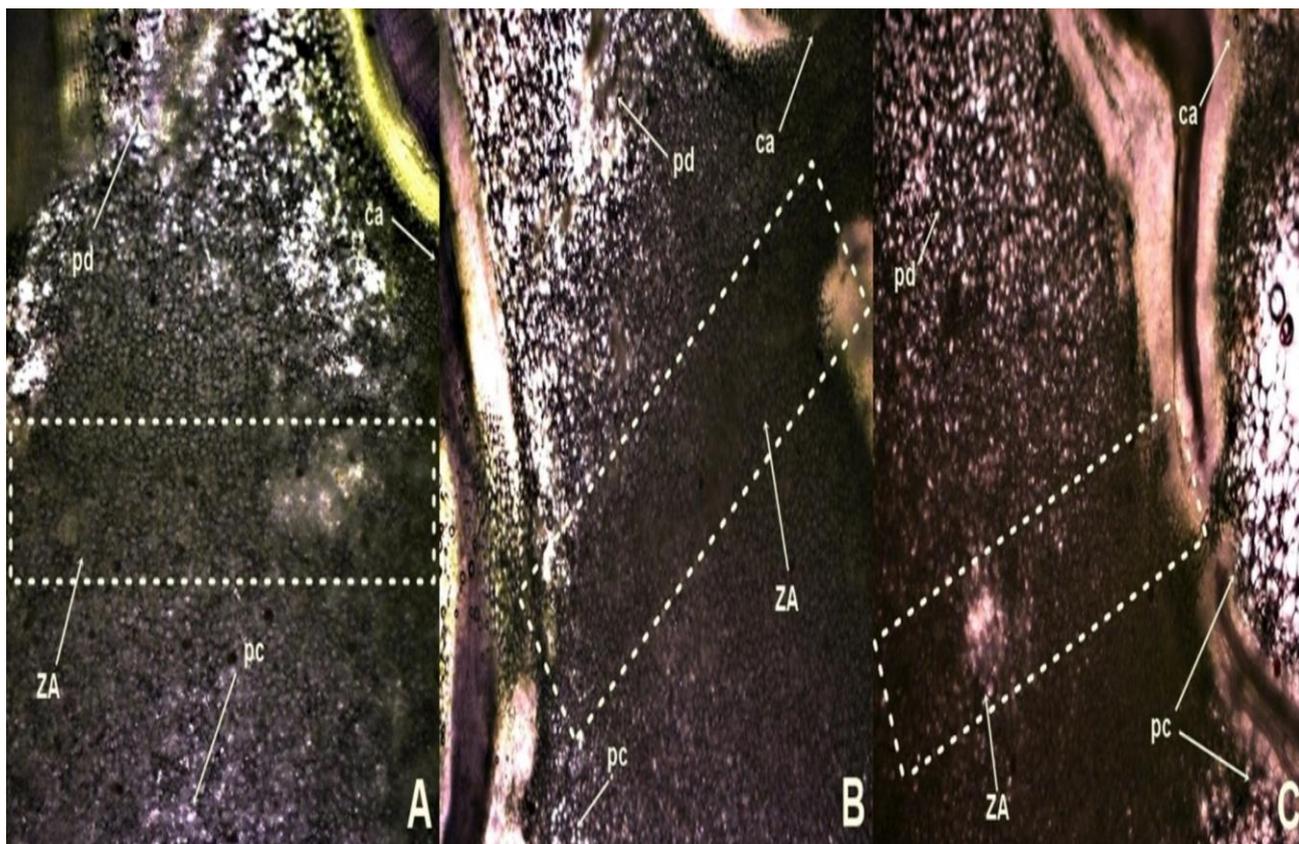


Figura 19. Microscopia ótica da zona de abscisão (ZA) em tomate cv. BRS Nagai no segundo dia de armazenamento em cacho, tratados com (A) controle; (B) GA₃ e (C) GA₃ + Etileno e armazenados em temperatura ambiente com aumento de 2,5x; pd: pedúnculo; pc: pericarpo; ca: inserção do cálice.

Após 12 dias de armazenamento foi possível observar uma maior diferenciação celular, indicando com clareza a região de formação da ZA, para todos os tratamentos empregados (Figura 20 A, B e C). Em cachos do tratamento Controle, a ZA já respondeu aos estímulos do balanço hormonal e as paredes celulares das células diferenciadas já sofreram ação da PME e PG, degradando as pectinas e gerando espaços intercelulares, conforme Figura 20D. Em relação ao tratamento com GA₃ + Etileno, observa-se a formação dos espaços intercelular, porém em menor grau quando comparado com o Controle (Figura 20F). E em cachos tratados apenas com GA₃, apesar de também ser possível observar a região de formação da ZA, não há presença de espaços intercelular (Figura 20E). Ao que indica, o GA₃ pode ter reduzido a degradação das pectinas, até certo ponto, reduzindo a sensibilidade ao etileno, mesmo em cachos tratados com a mistura dos reguladores.

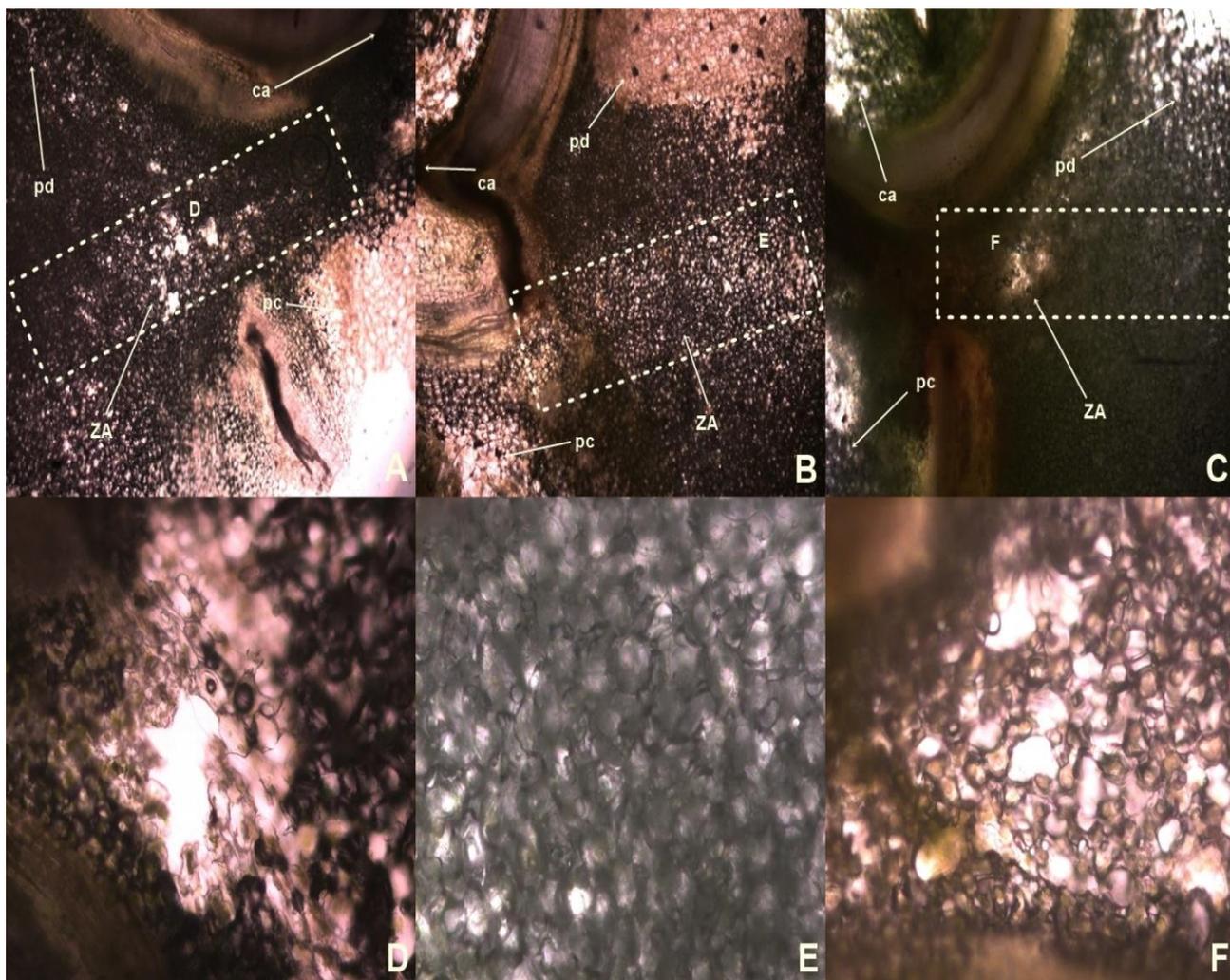


Figura 20. Microscopia ótica da zona de abscisão (ZA) em tomate cv. BRS Nagai no décimo segundo dia de armazenamento em cacho, tratados com (A) controle; (B) GA₃ e (C) GA₃ + Etileno e armazenados em temperatura ambiente - aumento de 2,5x. Utilizou-se aumento de 10x para verificar a diferenciação celular na ZA (D) controle; (E) GA₃ e (F) GA₃ + Etileno; pd: pedúnculo; pc: pericarpo; ca: inserção do cálice.

Aos 19 dias de armazenamento, os frutos dos cachos do Controle apresentavam grau avançado de abscisão, com boa parte do pedúnculo destacado do fruto. A região já destacada apresentou células com coloração escura e sem formato específico, indicando morte celular (Figuras 21A e 21D). Na Figura 21E é possível observar comportamento peculiar das células da ZA, em cachos tratados com GA₃ + Etileno, apresentando coloração marrom em todo o comprimento da mesma, destacando claramente a localização da ZA. A maioria dos cachos que receberam tal tratamento também apresentavam grau avançado de abscisão, diferindo do Controle quanto a coloração da região (Figuras 21C e 21F). Em contrapartida, cachos tratados com GA₃ apresentaram início da formação de espaços intercelulares aos 19 dias (Figura 21B). Ao que tudo

indica, o GA₃ retardou as fases de abscisão, porém, sendo o tomate fruto de comportamento climatérico, a produção de etileno auto catalítico, proveniente do processo de amadurecimento, favoreceu as modificações na parede celular das células da ZA posteriormente aos demais tratamentos.

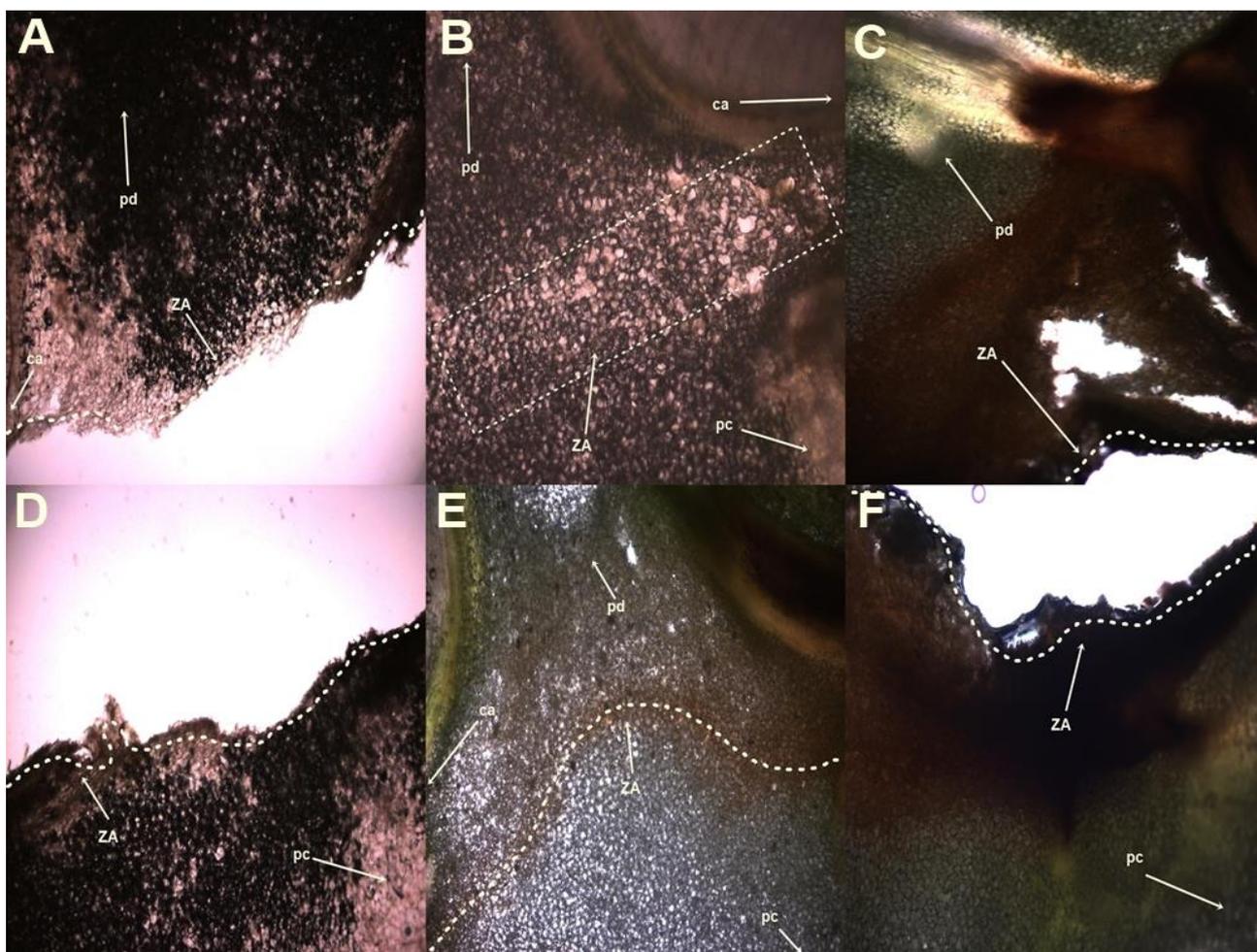


Figura 21. Microscopia ótica da zona de abscisão (ZA) em tomate cv. BRS Nagai no décimo nono dia de armazenamento em cacho, tratados com (A) controle após processo de abscisão – região superior da ZA; (B) GA₃; (C) GA₃ + Etileno após processo de abscisão – região superior da ZA; (D) controle após processo de abscisão – região inferior da ZA; (E) GA₃ + Etileno e (F) GA₃ + Etileno após processo de abscisão – região inferior da ZA e armazenados em temperatura ambiente. Aumento de 2,5x.

A abscisão é um processo complexo e já foi comprovado que é regulado pela ação do etileno (BINDER & PATTERSON, 2009). Foi sugerido por Bar-Dror et al. (2011) que genes associados à morte celular programada (MCP), biossíntese de etileno e de enzima modificadoras de parede celular são expressos na região de abscisão de pedicelos florais em tomateiro. Os autores verificaram que dois genes de expressão da PG são predominantes na região superior da zona de separação e genes de expressão da

ACC sintase são predominantes na região inferior. Botton et al. (2011), ao avaliarem as vias de sinalização envolvidas no processo de abscisão em macieiras, levantaram a hipótese que o etileno se difunde até as sementes em desenvolvimento no fruto, ocasionando interrupção no fluxo de auxina no sentido fruto-pedúnculo, sinalizando o processo de abscisão. A sensibilidade das células da ZA ao etileno vem sendo largamente estudada em tomateiro e foi associada ao aumento da expressão de genes de inativação de auxina (TUCKER et al., 1984; ESTORNELL et al., 2013).

Como já foi discutido no presente trabalho, a síntese de etileno ocasiona respostas fisiológicas sobre a atividade de enzimas hidrolíticas que atuam na parede celular das células presentes na ZA. Embora a atividade da PME tenha mostrado um aumento transitório em resposta a aplicação pós-colheita de 1000 mg.L⁻¹ de etileno em kiwi (WEGRZYN et al., 1992), Merelo et al. (2017) verificaram que o etileno tem influência direta na regulação e síntese de PG e que algumas dessas enzimas são sintetizadas, exclusivamente em células da ZA, durante o processo de abscisão em citros. Com o início do amadurecimento, ocorre a solubilização das protopectinas pela ação da PG e liberação de cálcio pela acidificação da parede celular, ocasionando o enfraquecimento das ligações dos polissacarídeos presentes na parede pelo deslocamento dos íons cálcio das zonas de junção

Em contrapartida, foi demonstrado que a ação da giberelina inibe parcialmente a atividade da AIA oxidase, aumentando o nível de auxina nos tecidos e retardando o processo de abscisão (CHITARRA & CHITARRA, 2005). Foi verificado por Hamim (2009), que a aplicação exógena de giberelina teve resposta positiva na concentração endógena de auxina devido ao aumento na concentração de AIA, por borrifação de GA₃ nos botões florais e após formação dos frutos de carambola, ocasionando maior retenção em frutos.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no presente trabalho indicam que a aplicação pós-colheita de 90 mg.L⁻¹ de GA₃ foi eficiente na manutenção da firmeza de casca e polpa e no controle do despencamento natural de frutos até o sexto dia de armazenamento sob condições ambiente. O experimento permitiu levantar a hipótese de que a ação do GA₃ retardou a atividade da PME em estádios iniciais de maturação dos frutos, não diferindo estatisticamente sobre a atividade da PG no 12º dia de armazenamento.

Levando em consideração que, no presente trabalho, a aplicação de 150 mg.L⁻¹ de etileno visava exclusivamente a homogeneização da coloração dos frutos dentro do mesmo cacho, pode-se dizer que, visualmente, a combinação dos reguladores se mostrou interessante para esta finalidade.

Ambos os tratamentos com GA₃ de forma isolada e em conjunto com etileno não apresentaram influência significativa nas características químicas avaliadas (SST, ATT e SST/ATT) e proporcionaram valores estatisticamente superiores para pH apenas no décimo dia de armazenamento em relação ao controle.

As imagens obtidas através de microscopia ótica indicam que a aplicação pós-colheita de GA₃ possa ter regulado negativamente a atividade de enzimas hidrolíticas na zona de abscisão, retardando a sua formação em relação ao controle e ao tratamento em conjunto com etileno.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALEXANDER, L.; GRIERSON, D. (2002). Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany* 53: 2039-2055.

ALVARENGA, M. A. R. (2004). TOMATE: Produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia. Lavras: Editora UFLA. 455 p. 4ªed.

AMARANTE, C. V. T.; DREHMER, A. M. F.; SOUZA, F. de; FRANCESCOTTO, P. (2005). Preharvest spraying with gibberellic acid (GA3) and aminoethoxyvinilglycine (AVG) delays fruit maturity and reduces fruit losses on peaches. *Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP*, v. 27, n. 1, p. 1-5.

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

ANTUNES, A. M.; VALMORBIDA, J.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. (2006). Effect of plant growth regulators in the refrigerated conservation of acerola fruits (*Malpighia glabra* L.). *Ciênc. agrotec., Lavras*, v. 30, n. 6, p. 1241-1245.

AQUINO, C. F.; SALOMÃO, L. C. C.; AZEVEDO, A. M. Qualidade pós-colheita de banana 'Maçã' tratada com ácido giberélico avaliada por redes neurais artificiais. *Pesq. agropec. bras., Brasília*, v.51, n.7, p.824-833.

AWAD, M.; ARAMIZU, A. K.; CHURATA-MASCA, M. G. C.; CASTRO, P. R. C. (1975). Efeitos do ácido 2-cloroetilfosfônico (ethephon), das giberelinas, do confinamento em sacos de polietileno e da temperatura no amadurecimento do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista de Agricultura*, v. 50, n 1-2.

AYUB, R. A.; REZENDE, B. L. A. (2010). Contribuição do ácido giberélico no tamanho de frutos do tomateiro. *Biotemas*, 23 (4): 25-28, dezembro.

AZZOLINI, M. (2002). Fisiologia pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’: estádios de maturação e padrão respiratório. Dissertação – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – USP. 112 p.

BALLESTER, A.R., MOLTHOFF, J., de Vos, R., HEKKERT, B.T.L., ORZAEZ, D., FERNANDEZ-MORENO, J.P., TRIPODI, P., GRANDILLO, S., MARTIN, C., HELDENS, J., YKEMA, M., GRANELL, A., BOVY, A. (2010). Biochemical and molecular analysis of pink tomatoes: deregulated expression of the Gene encoding transcription S1MYB12 leads to pink tomato fruit color. *Plant Physiol.* 152, 71–84.

BAR-DROR, T.; DERMASTIA, M.; KLADNIK, A.; ZNIDARIC, M. T.; NOVAK, M. P.; MEIR, S.; BURD, S.; PHILOSOPH-HADAS, S.; ORI, N.; SONEGO, L.; DICKMAN, M. B.; LERS, A. (2011). Programmed cell death occurs asymmetrically during abscission in tomato. *The Plant Cell*, vol. 23: 4146-4163, November.

BICALHO, U. de O.; CHITARRA, A.B.; CHITARRA, M.I.F.; COELHO, A.H.R. (2000). Modificações texturais em mamões submetidos à aplicação pós-colheita de cálcio e embalagem de PVC. *Ciência e Agrotecnologia*, v.24, p.136-146.

BINDER, B. M.; PATTERSON, S. E. (2009). Ethylene-dependent and-independent regulation of abscission. *Stewart Postharvest Rev.* 5, 1–10.

BORGUINI, R. G. (2002). Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) orgânico: o conteúdo nutricional e a opinião do consumidor. 2002. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, USP, Piracicaba.

BOTTON, A.; ECCHER, G.; FORCATO, C.; FERRARINI, A.; BEGHELDO, M.; ZERMIANI, M.; MOSCATELLO, S.; BATTISTELLI, A.; VELASCO, R.; RUPERTI, B.; RAMINA, A. (2011). Signaling pathways mediating the induction of apple fruitlet abscission, *Plant Physiol.* 155, 185–208.

BRUMMELL, D. A. (2006). Primary cell wall metabolism during fruit ripening. *New Zeal J For Sci* 36: 99–111.

- CAMERON, R.G.; KIM, Y.; GALANT, A. L.; LUZIO, G. A.; TZEN, J.T. C. (2015). Pectin homogalacturonans: Nanostructural characterization of methylesterified domains. *Food Hydrocolloids*, v. 47, p. 184–190.
- CARDOSO, S. C.; SOARES, A. C. F.; BRITO, A. S.; CARVALHO, L. A.; PEIXOTO, C. C.; PEREIRA, M. E. C.; GOES, E. (2006). Qualidade de frutos de tomateiro com e sem enxertia. *Bragantia*, Campinas, v.65, n.2.
- CARVALHO, W.; FONSECA, M. E. de N.; SILVA, H. R. da; BOITEUX, L. S.; GIORDANO, L. de B. (2005). 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.
- CAVASSA, A.C. et al. (2004). Conservação Pós-colheita de tomates (*Lycopersicon esculentum* Milly.), cv. “Kátia”, utilizando coberturas comestíveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33. São Paulo. Anais... São Paulo, p.1-4.
- CERQUEIRA, R. C. (2000). Avaliação de características pós-colheita de genótipos de bananeira (*Musa spp*). Cruz das Almas, BA: UFBA. 60 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas.
- CHEN, Y. F.; ETHERIDGE, N.; SCHALLER, E. (2005). Ethylene signal perception. *Annals of Botany*, v.95, p. 901-915.
- CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. (2005). Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio. 2.ed. Lavras: UFLA.
- CHIUMARELLI, M.; FERREIRA, M. D. (2006). Qualidade pós-colheita de tomates ‘Débora’ com utilização de diferentes coberturas comestíveis e temperaturas de armazenamento. *Horticultura Brasileira* 24: 381-385.

CHOVANEC, P.; HOVORKA, O.; NOVAK, K. (2008). Visualization of symbiotic tissue in intact root nodules of *Vicia tetrasperma* using gfp-marked *Rhizobium leguminosarum* bv. *Viciae*. Folia Microbiol. 53 (2), 139-146.

COURI, S. (1993). Efeito de cátions na morfologia do agregado e na produção de poligalacturonase por *Aspergillus niger* mutante 3T5B8. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.

COWLING, R. J.; KAMIYA Y.; SETO H.; HARBERD N. P. (1998) Gibberellin dose-response regulation of GA4 gene transcript levels in Arabidopsis. Plant Physiol 117:1195-1203.

DAVIES, P. J. (2010). Plant hormones and their role in plant growth and development, Dordrecht: Martinus Nijhoff, 657 p.

DELLAPENNA, D.; LINCOLN, J. E.; FISCHER, R. L.; BENNETT, A. B. (1989). Transcriptional analysis of polygalacturonase and other ripening associated genes in Rutgers, rin, nor, and Nr tomato fruit. Plant Physiology 90, 1372±1377.

DOCEMA, M.L. (2016). Fixação de frutos de caqui, sua relação com o acúmulo de graus-dia e a aplicação de ácido giberélico. Piracicaba, 63 p. :il.

DUMVILLE, J. C.; FRY, S. C. (2003). Solubilisation of tomato fruit pectins by ascorbate: a possible nonenzymic mechanism of fruit softening, Planta 217: 951–961.

EMBRAPA HORTALIÇAS – Tomate BRS Nagai. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortalicas/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1054/tomate-brs-nagai>. Acessado em: 14 de maio de 2018.

EMBRAPA SOLOS (2005). Tomate em cultivo sustentável – TOMATEC. Disponível em <https://www.embrapa.br/solos/busca-de-solucoes-tecnologicas/-/produto-servico/1245/tomate-em-cultivo-sustentavel---tomatec>. Acessado em 20 de outubro de 2016.

ESTORNELL, L. H.; AGUSTI, J.; MERELO, P.; TALON, M.; TADEO, F. R. (2013). Elucidating mechanisms underlying organ abscission. *Plant Science* 199–200, 48–60.

FABBRI, A. D. T. (2009). Estudo da radiação ionizante em tomates in natura (*Lycopersicon esculentum* mill) e no teor de licopeno do molho. 85 p. Autarquia Associada à Universidade de São Paulo – ipen.

FAOSTAT (2014) – **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acessado em: 20 de outubro de 2016.

FERREIRA, S.M.R. (2004). Características de qualidade de tomate de mesa (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivado nos sistemas convencional e orgânico comercializado na região metropolitana de Curitiba. 249 p. Curitiba.

FERREIRA, S.M.R.; FREITAS, R.J.S.; LAZZARI, E.N. (2004). Padrão de identidade e qualidade do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) de mesa. *Ciênc. Rural*, v.34, p.329-335.

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

FERREIRA, S. M. R.; QUADROS, D. A. de; KARKLE, E. N. L.; LIMA, J. J. de; TULLIO, L. T.; FREITAS, R. J. S. de. (2010). Qualidade pós-colheita do tomate de mesa convencional e orgânico. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 30(4): 858-864, out.-dez.

FERREIRA, R. M. de A.; LOPES, W. de A. R.; AROUCHA, E. M. M.; MANO, N. C. S.; SOUZA, C. M. G. de. (2012). Caracterização física e química de híbridos de tomate em diferentes estádios de maturação produzidos em Baraúna, Rio Grande do Norte. *Rev. Ceres*, Viçosa, v. 59, n.4, p. 506-511, jul/ago.

FERRI, V. C.; RINALDI, M. M.; SILVA, J. A.; LUCHETTA, L.; MARINI, L.; ROMBALDI, C. V. (2004). Ácido giberélico no retardamento da maturação de caquis (*Diospyrus kaki* L.), cultivar Fuyu. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 24(1): 001-005.

FILGUEIRA, F. A. R. (2008). Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3 ed. Viçosa: UFV. 412p.

FISCHER, R. L.; BENNETT, A. B. (1991). Role of cell wall hydrolases in fruit ripening. *Annual Review Physiology Plant Molecular Biology*, v.42, p. 675-703.

GAO X-H., XIAO S-L., YAO Q-F., WANG Y-J., FU X-D. (2011). An Updated GA Signaling “Relief of Repression” Regulatory Model. *Mol Plant*. 4: 601-606.

GARCÍA-ROJAS, M.; MENESES, M.; OVIEDO, K.; CARRASCO, C.; DEFILIPPI, B.; GONZÁLES-AGUERO, M.; LEON, G.; HINRICHSEN, P. (2018). Exogenous gibberellic acid application induces the overexpression of key genes for pedicel lignification and an increase in berry drop in table grape. *Plant Physiology and Biochemistry*.

GIONGO, L.; PONCETTA, P.; LORETTI, P.; COSTA, F. (2013). Texture profiling of blueberries (*Vaccinium* spp.) during fruit development, ripening and storage. *Postharvest Biol. Technol.* 76, 34–39.

GREENE, D. W.; SCHUPP, J. R.; WINZELER, H. E. (2011). Effect of abscisic acid and benzyladenine on fruit set and fruit quality of apples. *HortScience*, Alexandria, v. 46, n. 4, p. 604-609.

HAMIM, B. K. (2009). Physiological responses and fruit retention of carambola fruit (*Averrhoa carambola* L.) induced by 2,4-D and GA3. *Journal of Biosciences*. Vol.16, No.1, p 9-14.

HARRIMAN, R. W.; TIEMAN, D. M.; HANDA, K. (1991). Molecular cloning of tomatos pectin methylesterase gene and its expression in rutgers, ripening inhibitor, nonripening, and never ripe tomatos fruits. *Plant Physiology*, v.97, p.80-87.

HEDDEN, P.; KAMIYA, Y. (1997). Gibberellin Biosynthesis: Enzymes, Genes and Their Regulation. *Plant Physiol.* 48: 431-460.

HEUVELINK, E. (2005). Tomatoes. Wageningen University, The Netherlands. CABI Publishing.

HOBSON, G. E. (1964). Polygalacturonase in normal and abnormal tomato fruit. *The Biochemical Journal*, 92: 324–332.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola 2017. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/default_publ_completa.shtm. Acessado em: 14 de janeiro de 2018.

IMSABAI, W.; SAICHOL, K.; DOORN, W. (2006). Physiological and biochemical changes during banana ripening and finger drop. *Postharvest Biology and Technology*, v.39, n.2, p. 211-216.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 750:1998 (E) segunda edição - Fruit and vegetable products - Determination of titratable acidity.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 1842:1991 (E) segunda edição – Fruit and Vegetable products – Determination of pH.

INTERNATIONAL STANDARD ISO 2173:2003 (E) segunda edição - Fruit and vegetable products - Determination of soluble solids - Refractometric method.

JARVIS, M. C.; BRIGGS, S. P. H.; KNOX, J. P. (2003). Intercellular adhesion and cell separation in plants. *Plant Cell Env.* 26,977–989.doi:10.1046/j.1365-3040.2003.01034.x

JEN, J. J.; ROBINSON, M. L. P. (1984). Pectolytic enzymes in sweet bell peppers (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Food Science*, Chicago, v. 49, n. 4, p. 1085-1087, Mar./Apr.

KATAOKA, K.; YASHIRO, Y.; HABU, T.; SUNAMOTO, K.; KITAJIMA, A. (2009). The addition of gibberellic acid to auxin solutions increases sugar accumulation and sink strength in developing auxin-induced parthenocarpic tomato fruits. *Scientia Horticulturae* 123. 228–233.

KERBAUY, G. B. (2004). Fisiologia vegetal. Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, Brasil, 452pp.

KLUGE, R. A.; MINAMI, K. (1997). Efeito de esters de sacarose no armazenamento de tomates Santa Clara. Scientia Agrícola. Piracicaba. v. 54. n. 1-2. p. 39-44. jan./ago. 1997.

KOBLITZ, M. G. B. (2008). Bioquímica de alimentos. Teoria e aplicações práticas. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 242 p.

KOCH, J.L.; NEVINS, D.J. (1989). Tomato fruit cell wall. I. Use of purified tomato polygalacturonase and pectinmethylesterase to identify developmental changes in pectins. Plant Physiology, v.91, p.816- 822.

KOHATSU, D.S. (2007). Efeitos de reguladores vegetais na qualidade de frutos de melão rendilhado/ Douglas Seijum Kohatsu. – Botucatu, [s.n.].

KUMAR, A. BISWAS, T. K.; SINGH, N.; LAL, E. P. (2014). Effect of Gibberellic Acid on Growth, Quality and Yield of Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). IOSR Journal of Agriculture and Veterinary Science. Volume 7, Issue 7 Ver. IV, PP 28-30.

LEE, M.; MACMILLAN, J. D. (1968). Mode of action of pectin enzymes. I. Purification and properties of tomato pectinesterase. Biochemistry, 7, 4005-4010.

LESLIE, M. E.; LEWIS, M. W.; LILJEGREN, S. J. (2007). Organ abscission. In Plant Cell Separation and Adhesion, J.A. Roberts, and Z.H. Gonzalez-Carranza, eds (Oxford, UK: Blackwell Publishing), pp. 106–136.

LEVANTAMENTO SISTEMÁTICO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA – IBGE (2017). Disponível em: [ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_\[mensal\]/Fasciculo/2017/lspa_201701.pdf](ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_[mensal]/Fasciculo/2017/lspa_201701.pdf). Acessado em: 15 de maio de 2018.

LIMA, J. D.; ROSA, J. S.; MORAES, W da S.; SILVA, S. H. M-G. da; ROZANE, D. E.; GOMES, E. N. (2015). Period of bunch formation and growth regulators on yield and quality of banana 'Grande Naine'. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.45, n.8, p.1451-1454, ago.

LIZARDO, C. O. I. (2017). Pressão hiperbárica e temperatura na qualidade pós-colheita de tomate 'Débora'. Tese, xii, 71 p.: il. Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

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

MACEDO, J. R. de; CAPACHE, C. L.; MELO, A. da S.; BHERING, S. B. (2005). *Recomendações Técnicas para a Produção do Tomate Ecologicamente Cultivado - TOMATEC*. Circular Técnica 33. ISSN 1517-5146.

MELO, N. C.; SOUZA, L. C.; SILVA, V. F.; GOMES, R. F.; NETO, C. F. O.; COSTA, L. P. C. (2014). Cultivo de tomate (*SolanumLycopersicum*) hidropônico sob diferentes níveis de fósforo e potássio em solução nutritiva. *Agroecossistemas*, v.6, n.1, p.10-16.

MENEZES, K. R. P.; SANTOS, G. C. de S. S.; OLIVEIRA, O. M de; SANCHES, A. G.; CORDEIRO, C. A. M.; OLIVEIRA, A. R. GOMES de. (2017). Influência dos revestimentos comestíveis na preservação da qualidade pós-colheita de tomate de mesa. *Colloquium Agrariae*, v. 13, n.3, Set-Dez. p.14-28.

MERELO, P.; AUGUSTI, J.; ARBONA, V.; COSTA, M. L.; ESTORNELL, L. H.; GOMEZ-CADENAS, A.; COIMBRA, S.; GOMEZ, M. D.; PEREZ-AMADOR, M. A.; DOMINGO, C.; TALON, M.; TADEO, F. R. (2017). Cell Wall Remodeling in Abscission Zone Cells during Ethylene-Promoted Fruit Abscission in Citrus. *Front. Plant Sci.* 8:126.

MONTEIRO, C. S.; BALBI, M. E.; MIGUEL, O. G.; PENTEADO, P. T. P. S.; HARACEMIV, A. M. C. (2008). Qualidade nutricional e antioxidante do tomate "tipo italiano". *Alimentos e Nutrição* 19: 25-31.

MONTGOMERY, J.; POLLARD, V.; DEIKMAN, J.; FISCHER, R.L. (1993). Positive and negative regulatory regions control the spatial distribution of polygalacturonase transcription in tomato fruit pericarp. *The Plant Cell* 5, 1049±1062.

MOREIRA, C. (2013). Microscópio ótico. *Revista de Ciência Elementar*, 1(01):0005.

MOURA, L. M.; FINGER, F. L.; MIZOBUTSI, G. P.; GALVÃO, H. L. (2005). Fisiologia do amadurecimento na planta do tomate Santa Clara e do mutante Firme. *Hortic. Bras.* v.23 no.1 Brasília Jan./Mar.

NAKANO, R.; OGURA, E.; KUBO, Y.; INABA, A. (2003). Ethylene biosynthesis in detached young persimmon fruit is initiated in calyx and modulated by water loss from the fruit. *Plant Physiol.* 131 (1), 276–286.

NICHOLASS, F. J., SMITH, C. J., SCHUCH, W., BIRD, C. R., GRIERSON, D. (1995). High levels of ripening-specific reporter gene expression directed by tomato fruit polygalacturonase gene-flanking regions. *Plant Molecular Biology*, 28: 423–435.

NILSSON T. (2000). Postharvest handling and storage of vegetables. In: SHEWFELT RL; BRUCKNER B. (Eds.) *Fruit & Vegetables Quality. An integrated view*. Lancaster: Technomic Publishing Company Inc. Cap. 6, p. 96-121.

OGAWA, M.; KAY, P.; WILSON, S.; SWAIN, S. M. (2009). ARABIDOPSIS DEHISCENCE ZONE POLYGALACTURONASE1 (ADPG1), ADPG2, and QUARTET2 are polygalacturonases required for cell separation during reproductive development in Arabidopsis. *Plant Cell* 21:216–233.

OSBORNE, D. J.; MORGAN, P. W. (1989). Abscission. *Critical Reviews in Plant Sciences*, Londres, v. 8, n. 2, 103-129.

PECH, J.C.; LATCHÉ, A.; BALAGUÉ, C.; BOUZAYEN, M.; LELIÈVRE, J.M. (1994). Postharvest physiology of climacteric fruits: recent development in the biosynthesis and action of ethylene. *Scienza Alim*, Toulous, v. 14, p. 3-14.

PEDROLI, D. B.; MONTEIRO, A. C.; GOMES, E.; CARMORA, E. G. (2009). Pectinases: Production, Characterization and Industrial Application of Microbial Pectinolytic Enzymes. *Biotechnology Journal*. v.3, p.9 – 18.

PEREIRA, G. M.; FINGER, F. L.; CASALI, V. W. D.; BROMMONSCHENKE, S. H. (2008). Influência do tratamento com etileno sobre o teor de sólidos solúveis e a cor de pimentas. *Bragantia*.

PIRES, E. J. P.; BOTELHO, R. V.; TERRA, M. M. (2003). Efeitos do CPPU e do ácido giberélico nas características dos cachos da uva de mesa 'Centennial Seedless'. *Ciência e Agrotecnologia*, v.27, p.305-311.

PRESSEY, R., AVANTS, J. K. (1973). Two forms of polygalacturonase in tomatoes. *Biochimica Et Biophysica Acta*, 309: 363–369.

PRESSEY, R.; AVANTS, J. K. (1982). Solubilization of cell walls by tomato polygalacturonase: effects of pectinesterases. *Journal of Food Biochemistry*. v.1, n.6, p.57-74.

RAMOS, A. R. P. (2013). Produtos de efeitos fisiológicos no desenvolvimento de plantas de tomate 'Giuliana', na produção e pós-colheita de frutos. – Botucatu: [s.n.], ix, 147f.: grafs., tabs., ils. color., fots. color.

REHMAN, H. U.; SIDDIQUE, N. N.; AMAN, A.; NAWAZ, M. A. BALOCH, A. H. QADER, S. A. U. (2015). Morphological and molecular based identification of pectinase producing *Bacillus licheniformis* from rotten vegetable. *Journal of Genetic Engineering and Biotechnology*. v.13, p.139 –144.

RESENDE, J. M.; CHITARRA, M. I. F.; MALUF, W. R.; CHITARRA, A. B.; JÚNIOR, O. J. S. (2004). Atividade de enzimas pectinametilesterase e poligalacturonase durante o amadurecimento de tomates do grupo multilocular. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.22, n.2, p.206-212.

- RINALDI, M. M.; SANDRI, D.; OLIVEIRA, B. N.; SALES, R. N.; AMARAL, R. D. A. (2011). Avaliação da vida útil e de embalagens para tomate de mesa em diferentes condições de armazenamento. B.CEPPA, Curitiba, v. 29, n. 2, p. 305-316, jul./dez.
- SENECHAL, F.; WATTIER, C.; RUSTERUCCI, C.; PELLOUX, J. (2014). Homogalacturonan-modifying enzymes: structure, expression and roles in plants. J.Exp.Bot. 655125–5160.doi:10.1093/jxb/eru272
- SEYMOUR, G. B. (1993). Banana. In: SEYMOUR, G.B.; TAYLOR, J.; TUCKER, G. (Eds.). Biochemistry of fruit ripening. London: Chapman and Hall, p.83-106.
- SHANI, Z., DEKEL, M., ROIZ, L., HOROWITZ, M., KOLOSOVSKI, N., LAPIDOT, S., ALKAN, S., KOLTAI, H., TSABARY, G., GOREN, R., SHOSEYOV, O. (2006). Expression of endo-1,4-beta-glucanase (cell) in Arabidopsis thaliana is associated with plant growth, xylem development and cell wall thickening. Plant Cell Rep. 25: 1067–1074.
- SILVA, J. A. A.; DONADIO, L. C.; DEMATTÊ, J. B. I. (2000). Comportamento da laranjeira ‘Pêra’ sobre dois porta-enxertos e três níveis de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 16, Fortaleza.
- SILVA, C. V.; BARBOSA, C. P. I.; PAULA, M. L.; COELHO, N. R. A. (2004). Obtenção e caracterização físico-química do pó de tomate. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19. Recife. Anais... Recife: SBCTA, CD.
- SILVA, J. O. da. (2015). Reguladores vegetais e alguns nutrientes minerais no desenvolvimento de plantas de tomateiro ‘Pizzadoro’ enxertadas e não enxertadas. Botucatu: [s.n.], vii, 45f.
- SPADONI, T. B. (2015). Aplicação de regulador vegetal e poda nas relações fisiológicas na produção do tomateiro. Botucatu: [s.n.], xii, 78f.
- STEFFENS, C. A.; AMARANTE, C. V. T. do; CHECHI, R.; ZANARDI, O. Z.; ESPINDOLA, B. P.; MENEGHINI, A. L. (2011). O tratamento pré-colheita com aminoetoxivinilglicina ou ácido giberélico preserva a qualidade pós-colheita de ameixas ‘Laetitia’. Bragantia, Campinas, v. 70, n. 1, p.222-227.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. (1998). Plant physiology. 2. ed. Redwood City: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., 792 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. (2017). Fisiologia e desenvolvimento vegetal. 6ª edição. Artmed, Xxx, 858p. il. color.

TAKAHASHI, H. W.; BARZAN, R. R.; BERTONCELLI, D. J.; SUZUKI, A. B. P.; FREGONEZI, G. A. de F.; LORETO Y SAMPAIO, M. di; FIRMANO, R. F.; SILVA, R. B. da. (2018). Management of the nutrient solution for postharvest quality of tomatoes with fertigation in sand. Braz. J. Food Technol., v. 21, e2016144.

TOSTO, S. G.; BRANDÃO, E. S.; MACEDO, J. R. de; CAPECHE, C. L. (2006). Avaliação de impacto ambiental – produção de tomate de mesa ecologicamente cultivado no município de São José de Ubá, RJ – Uma aplicação do método Ambitec – Agro. ISSN 1678-0892. Rio de Janeiro. Dezembro.

TUCKER, G. A.; SCHINDLER, C. B.; ROBERTS, J. A. (1984). Flower abscission in mutant tomato plants, Planta 160. 164–167.

TUCKER, Greg et al. Ethylene and fruit softening. Food Quality and Safety, v. 1, n. 4, p. 253–267, 2017. Disponível em: <<http://academic.oup.com/fqs/article/1/4/253/4735143>>.

TUCKER, M. L.; KIM, J. (2015). Abscission research: what we know and what we still need to study. Stewart Postharvest Review. Soybean Genomics and Improvement Lab, Agricultural Research Service, USDA, Beltsville, MD, USA.

VIEIRA, J. D. M. (2016). Bioestimulante na fenologia do tomateiro ‘sweet heaven’ e na qualidade pós-colheita de frutos sob refrigeração. Dissertação, 65f.:il. Universidade Federal do Piauí.

WEGRZYN, T. F.; MACRAE, E. A. (1992). Pectinesterase, polygalacturonase, and β -galactosidase during softening of ethylene-treated kiwifruit. Horticultural Science, 8: 900–902.

WOLF, S.; MOUILLE, G.; PELLOUX, J. (2009). Homogalacturonan methyl-esterification and plant development. Mol. Plant 2,851–860.doi:10.1093/mp/ssp066.

WUA, Q.; BAIA, J.; TAOA, X.; MOUA, W.; LUOA, Z.; MAOA, L.; BANB, Z.; YINGA, T.; LIA, L. (2018). Synergistic effect of abscisic acid and ethylene on color development in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Scientia Horticulturae* 235 (2018) 169–180.

YAMAMURA, H.; NAITO, R. (1975). Mechanism of the thinning action of NAA in kaki fruits. Relation between NAA-induced fruit abscission and endogenous growth substances in fruit tissues. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, Tokyo*, v. 43, p. 406-414.

YANG, S. F.; HOFFMAN, N. E. (1984). Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual Review of Plant Biology*, 35: 155–189.