



**CARLOS AGOSTINHO BALATE**

**EFEITO DE ÁCIDO ABCÍSIKO NO CONTROLE DE  
PODRIDÃO APICAL E NA QUALIDADE DO TOMATE**

**LAVRAS – MG  
2017**

**CARLOS AGOSTINHO BALATE**

**EFEITO DE ÁCIDO ABCÍSIKO NO CONTROLE DE PODRIDÃO APICAL E NA  
QUALIDADE DO TOMATE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Programa de  
Agronomia/Fitotecnia área de Produção vegetal, para a  
obtenção do título de Doutor.

Orientador

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Luciane Vilela Resende

Coorientador

Pesquisador. Dr. Sérgio Tonetto De Freitas

**LAVRAS – MG  
2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Balate, Carlos Agostinho.

Efeito de ácido abscísico no controle de podridão apical e na qualidade do tomate / Carlos Agostinho Balate. - 2017.

52 p. : il.

Orientador(a): Luciane Vilela Resende.

Coorientador(a): Sérgio Tonetto De Freitas.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. *Solanum lycopersicum*. 2. Hormônios vegetais. 3. Déficit hídrico. 4. Sólidos solúveis. 5. Podridão apical. I. Resende, Luciane Vilela. II. De Freitas, Sérgio Tonetto. III. Título.

**CARLOS AGOSTINHO BALATE**

**EFEITO DE ÁCIDO ABCSÍCICO NO CONTROLE DE PODRIDÃO APICAL E NA  
QUALIDADE DO TOMATE**

**EFFECT OF ABSCISIC ACID ON CONTROL OF APICAL ROT AND  
IN TOMATO QUALITY**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do Programa de  
Agronomia/Fitotecnia área de Produção vegetal, para a  
obtenção do título de Doutor.

Aprovada em 18 de janeiro de 2017.

Dra. Josane Maria Resende Saggin	UFRRJ
Dra. Elisângela Elena Nunes Carvalho	UFLA
Dr. Wilson Roberto Maluf	UFLA
Dr. Silvino Guimarães Moreira	UFLA

Prof<sup>ª</sup>. Dra. Luciane Vilela Resende  
Orientadora

Pesquisador. Dr. Sérgio Tonetto De Freitas  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2017**

À minha esposa Ndoca e meus filhos Malique e Áquila,  
aos pais Isabel (in *memorariam*) e Bartolomeu e toda à minha família.

**Dedico.**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Agricultura, pela oportunidade de realização do Doutorado.

Ao programa PEC-PG e à CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

À Fapemig e ao CNPq pelo apoio financeiro.

Ao Instituto Superior Politécnico de Gaza por ter me autorizado continuar com os meus estudos no Brasil.

À minha orientadora. Profa. Dra. Luciane Vilela Resende, pelo apoio, ensinamentos, compreensão e pela agradável convivência.

Ao meu Coorientador, Dr. Sérgio Tonetto de Freitas, pelo apoio científico prestado.

À HortiAgro Sementes S.A., à Profa. Maria Ligia e à UFLA pela infraestrutura.

Aos funcionários da horta (Stefany, Josimar e Luizinho) pelo apoio e companheirismo em todos os momentos.

Aos membros da banca.

À minha esposa, Ndoca, meus filhos, Malique e Áquila, pelo apoio, compreensão e por continuarem a acreditar em mim.

Aos meus pais Bartolomeu e Isabel (*in memoriam*) pelos ensinamentos, carinho e amor.

Aos meus amigos conterrâneos na diáspora, em especial, Mesquita, Marrenjo e Roger pelo companheirismo e convivência.

Aos companheiros brasileiros, Marcos, Douglas, Silvia, Carol, Krisnanda e a todos os orientados da Profa. Luciane.

Ao Prof. Magela pelo apoio.

A todos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

## RESUMO GERAL

O crescimento e o desenvolvimento das plantas é controlado e regulado pelos hormônios vegetais. O Ácido Abscísico (ABA) é um dos fitohormônios que desempenha várias funções na planta desde a semente até ao amadurecimento. O ABA é produzido nas raízes quando as plantas estão sob estresse hídrico e é liberado para as partes aéreas onde atua no fechamento dos estômatos para redução da transpiração. O fechamento dos estômatos promove maior alocação de Ca para a região distal do fruto que está em maior multiplicação celular e reduz a incidência de podridão apical. Sob condições de estresse hídrico, o aumento do ABA pode também influenciar a produção de etileno, o que tem um efeito sobre o amadurecimento dos frutos. Com o exposto acima, o primeiro experimento objetivou analisar o efeito da aplicação foliar de ABA na redução do podridão apical no tomate sob o regime de quatro níveis de irrigação no campo. A aplicação foliar de ABA aumentou a alocação de Ca para a região distal de frutos aos 30 dias depois do início da floração. O ABA reduziu a incidência de podridão apical em 86% quando comparado às plantas sem o ABA. Conclui-se que a aplicação foliar de ABA pode reduzir significativamente a incidência de podridão apical. No segundo experimento objetivou-se analisar o efeito de três métodos de aplicação semanal de ABA na qualidade dos frutos de tomate. A aplicação do ABA melhorou a qualidade do fruto. O método de aplicação pode influenciar a qualidade dos frutos. O ABA estimulou o aumento de sólidos solúveis e melhorou a firmeza. Conclui-se que a aplicação de ABA via foliar ou radicular pode melhorar a qualidade dos frutos de tomate.

**Palavras-chave:** *Solanum lycopersicum*. Hormônios vegetais. Déficit hídrico. Sólidos solúveis. Podridão apical.

## GENERAL ABSTRACT

Phytohormones control and regulate plant growth and development. Abscisic acid (ABA) is one of the phytohormones that are involved in various stages of plant life cycle from seed to maturity. ABA is produced in the roots when the plants are under water stress and is released to the aerial parts where it acts reducing the transpiration by closing the stomata, and thereby reducing water loss. In addition the stomata closure, it promotes Ca partition into the distal end of the fruits, which is in rapid cell division, and reduces the incidence of blossom end rot (BER). Under water stress conditions, the increase of abscisic acid can stimulate the production of ethylene, which may affect the fruit quality. Therefore, the objective of the first study was to analyze the role of ABA in increasing the Ca uptake in fruit tissue as a possible mechanism of blossom-end rot incidence inhibition in water stressed tomato plants. Foliar application of ABA increased Ca partitioning to the distal end of the fruits 30 days after the beginning of flowering. ABA reduced the incidence of BER by 86% when compared with non-ABA treated plants. Thus the foliar application of ABA can significantly reduce the incidence of BER. The objective of the second experiment was to determine the effect of three methods of application of exogenous ABA on tomato fruit quality parameters. All treatments were weekly applied to the plants from anthesis to harvest maturity. ABA improved the fruit quality parameters. The method of application may have effect on fruit quality. According to the results, foliar and root ABA application can improve fruit quality.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*. Phytohormone. Water deficit. Soluble solids. Blossom end rot.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

### LISTA DE TABELAS

#### CAPÍTULO 2

Table 1	Soluble solids (SS), titratable acidity (TA) and pH values in tomato fruit treated with exogenous ABA (foliar, root, and foliar/root.) and control (deionised water) applied from anthesis to mature green.....	32
Table 2	Total and soluble pectin in tomato fruit under 3 ABA treatments applied from anthesis to mature green.....	34

#### CAPÍTULO 3

Table 1	Ca concentration in distal tissue at 15 and 30 DAA of tomato fruits grown in field conditions under four different levels of irrigation and sprayed weekly with ABA or water.....	45
Table 2	Ca concentration in fully expanded leaf at 15 DAA of tomato plants grown in field conditions under four different levels of irrigation and sprayed weekly with ABA or water.....	46

#### CAPÍTULO 3

### LISTA DE FIGURAS

Figure 1	Incidence of BER at 30 DAA tomato fruits grown in field conditions under four different levels of irrigation and sprayed weekly with ABA or water.....	44
----------	--	----

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1 Introdução Geral</b> .....	<b>10</b>
<b>1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1</b>	<b>Produção de tomate no Brasil</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2</b>	<b>Exigências nutricionais e Cálcio</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Funções do cálcio na planta</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Deficiência de Ca e podridão apical (PA) no tomate</b> .....	<b>14</b>
<b>2.3</b>	<b>Déficit hídrico</b> .....	<b>15</b>
<b>2.3.1</b>	<b>Ácido Abscísico</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3.1.1</b>	<b>ABA e déficit hídrico</b> .....	<b>17</b>
<b>2.3.1.2</b>	<b>ABA e podridão Apical</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3.1.3</b>	<b>ABA e qualidade de frutos</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3.1.4</b>	<b>Efeito de ABA nos Sólidos Totais Solúveis e acidez titulável</b> .....	<b>20</b>
<b>2.3.1.5</b>	<b>Ácido Abscísico na firmeza e nas concentrações pectina solúvel e pectina total</b> .....	<b>22</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>22</b>
	<b>CAPÍTULO 2 Use of abscisic acid to improve tomato fruit quality</b> .....	<b>27</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>29</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL AND METHODS</b> .....	<b>30</b>
<b>2.1</b>	<b>Chemical and physical analyses</b> .....	<b>31</b>
<b>2.2</b>	<b>Statistical analyses</b> .....	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>RESULTS AND DISCUSSION</b> .....	<b>32</b>
<b>3.1</b>	<b>The effect of exogenous ABA on fruit soluble solids</b> .....	<b>32</b>
<b>3.2</b>	<b>Effect of external ABA on fruit titratable acidity and pH</b> .....	<b>33</b>
<b>3.3</b>	<b>Effects of exogenous ABA on fruit solubles and total pectin and flesh firmness</b> .....	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>35</b>
	<b>REFERENCES</b> .....	<b>36</b>
	<b>CAPÍTULO 3 Abscisic acid increases calcium content and inhibits blossom-end rot development in water stressed tomato fruit</b> .....	<b>38</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>40</b>
<b>2.</b>	<b>MATERIALS AND METHODS</b> .....	<b>42</b>
<b>2.1</b>	<b>Experimental procedures</b> .....	<b>42</b>
<b>2.2</b>	<b>Agriculture management</b> .....	<b>42</b>
<b>2.3</b>	<b>Percentage blossom-end rot incidence</b> .....	<b>43</b>
<b>2.4</b>	<b>Statistical Analyses</b> .....	<b>43</b>
<b>3</b>	<b>RESULTS</b> .....	<b>44</b>
<b>4</b>	<b>DISCUSSION</b> .....	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>49</b>
	<b>REFERENCES</b> .....	<b>50</b>

## **CAPÍTULO 1 - Introdução Geral**

### **1 INTRODUÇÃO**

O tomate é uma das hortaliças mais produzidas no mundo depois da batata. Constitui uma excelente fonte de compostos promotores da saúde em razão da mistura equilibrada de minerais e antioxidantes, incluindo as vitaminas C e E, licopeno, betacaroteno, luteína e flavonoides (DORAIS; EHRET; PAPADOPOULOS, 2008). Um dos grandes problemas que afeta a produção de tomate é a podridão apical (PA) que pode reduzir o rendimento em mais de 50%.

A PA vem sendo estudada, há mais de um século e até hoje suas causas, ainda, não foram compreendidas totalmente (ADAMS; HO, 1995). Também falta esclarecer os mecanismos pelos quais os fatores externos afetam a concentração de Ca nos frutos e a incidência de PA como também a relação entre a deficiência de Ca e a PA (SAURE, 2001). Existem estudos que mostram que o formato do fruto tem influência na incidência de PA. Tomates oblongos são mais suscetíveis do que os redondos e, ainda, não se verifica desenvolvimento de PA no tomate cereja (HO; WHITE, 2005). Esta ideia sugere que a suscetibilidade das cultivares à PA está relacionada com a distribuição diferenciada de assimilados foliares e de Ca transportados de xilema, para a região distal do fruto, durante a fase rápida de crescimento.

A maior parte dos estudos realizados, nestes últimos 100 anos, apontam a deficiência localizada de Ca, no tecido distal do fruto, como a principal causa de PA. No entanto observa-se que PA não é causada, exclusivamente, pela deficiência de Ca, mas, sim, por vários outros fatores. Segundo Saure (2014), a deficiência de Ca só pode ser considerada como resultado e não a causa da PA. Com essa nova abordagem, outras possibilidades estão sendo discutidas, para controlar a PA de forma mais eficaz, reduzindo a suscetibilidade ao estresse e à sua gravidade, por meio de seleção adequada de locais de produção, melhoria das práticas agrícolas e desenvolvimento e seleção de cultivares resistentes ao estresse (SAURE 2014).

O estresse hídrico, também, é apontado como um dos fatores que estimulam o desenvolvimento de PA. As plantas podem tolerar estresse hídrico moderado, induzindo, temporariamente, a biossíntese de ácido abscísico (ABA), conhecido como "hormônio do estresse", que pode reduzir a atividade das Giberelinas e promover a absorção e alocação de Ca (SAURE, 1998).

A qualidade do tomate tem grande influência na aceitação do consumidor. Vários estudos realizados para qualidade têm focado, no aspecto pós-colheita, no qual os frutos são submetidos a vários ambientes para determinar a vida útil. A qualidade engloba vários parâmetros que devem iniciar, no campo, durante a produção. Aspectos como a qualidade da semente, programas de adubação, qualidade da água da rega, luz, temperatura podem afetar a qualidade dos frutos (CUARTERO; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, 1998; DORAIS; EHRET; PAPADOPOULOS, 2008).

A qualidade do tomate pode ser melhorada pela aplicação foliar de ABA. No passado recente, o ABA era utilizado somente em experimentos, em virtude dos elevados custos, mas, atualmente, o ABA já está disponível a custo mais acessível. O ABA tem potencial para aumentar a concentração de sólidos solúveis, diminuir a concentração de ácidos orgânicos.

Os trabalhos realizados foram, em casas de vegetação, nas quais as condições do meio eram, totalmente, controladas. Há escassez de informações sobre os efeitos de ABA, no tomateiro produzido em campo e, no entanto a maior produção de tomate, ainda, é realizada em condições de campo,

Deste modo objetivou-se com este trabalho, primeiramente, estudar os efeitos de aplicação de ABA, na redução de PA, em tomate sob o estresse hídrico. Objetivou-se, também, estudar o efeito da aplicação de ABA, na qualidade dos frutos produzidos, em ambiente protegido.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Produção de tomate no Brasil

O tomate é uma das hortaliças com papel de destaque do ponto de vista econômico pelo volume de produção e pelo aspecto social em consequência da geração de emprego (MAKISHIMA; MELO, 2005). A produção anual de tomate, no Brasil, de 2013 à 2015, foi estimada em cerca de 4.20, 4.30 e 4.15 milhões de toneladas, respectivamente e o valor da produção foi cerca de R\$ 5.20 milhões, em 2013 e R\$ 5.18 milhões, em 2014 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2016; MINAS GERAIS, 2016).

A cadeia produtiva gerou cerca de 300 mil empregos e movimentou, em termos de mão-de-obra, o montante de R\$ 280 milhões em 2013 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS - ABCSEM, 2012). O Brasil ocupou o sétimo lugar, no ranking mundial de produção de tomate, para o processamento de 2013 a 2015 (WORLD PROCESSING TOMATO COUNCIL – WPTC, 2016).

A área de tomate plantada, em 2015, diminuiu cerca de 4% em relação à área plantada em 2014. Em 2016, previa-se uma redução de cerca de 12%, em relação a 2015, nas três maiores regiões produtoras de tomate do Brasil. O principal fator limitante foram as baixas precipitações pluviométricas, abaixo do necessário para o desenvolvimento da cultura. Esta tendência foi observada, mesmo em áreas que utilizam a irrigação e receava-se que a baixa precipitação afetasse os reservatórios e a água não fosse suficiente para satisfazer a cultura (IBGE, 2016).

### 2.2 Exigências nutricionais e Cálcio

O tomateiro é muito exigente em nutrientes, mas as quantidades exportadas pela cultura são, relativamente, pequenas. Em média, uma tonelada de tomate possui, aproximadamente, 3 kg de nitrogênio; 0,5 kg de fósforo; 5 kg de potássio; 0,8 kg de cálcio; 0,2 kg de magnésio e 0,7 kg de enxofre. Em relação aos micronutrientes, as quantidades são: 5 g de boro; 25 g de zinco; 10 g de cobre; 25 g de manganês e 25 g de ferro (SILVA et al., 2006).

Embora o Ca seja abundante, na maioria dos solos, a sua deficiência pode se tornar um problema, em várias frutas e hortaliças, causando grandes perdas econômicas. A deficiência de Ca, nos tecidos vegetais, pode causar distúrbios fisiológicos, tais como “*bitter pit*” em maçãs, podridão apical em tomate e “*tipburn*” em folhas de folhosas. Os distúrbios

fisiológicos caracterizam-se pela deterioração das membranas celulares e resultam na perda de turgescência e fluidos das células. Esta deficiência ocorre, especialmente, na fase de crescimento vigoroso das plantas (FREITAS et al., 2016; SAURE, 1996, 1998, 2001, 2005; WHITE; BROADLEY, 2003).

### 2.2.1 Funções do cálcio na planta

Cálcio (Ca) é um cátion bivalente essencial às plantas, sendo absorvido, na forma iônica  $\text{Ca}^{2+}$  e a sua absorção pode ser reduzida pela presença de altas concentrações de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{NH}_4^+$  no meio nutritivo. O nutriente desempenha várias funções nas plantas: como funções estruturais na parede e na membrana celular, componente da lâmina média (MARSCHNER, 2012; VITTI; LIMA; CICARONE, 2006) e como mensageiro intracelular no citosol (WHITE; BROADLEY, 2003).

Os íons de  $\text{Ca}^{2+}$  ajudam, na manutenção da estabilidade e integridade da membrana celular, evitando a saída de substâncias intracelulares e estão envolvidos na sinalização e percepção de resposta ao stress (ATKINSON, 2014). O Ca é modelador da ação dos hormônios vegetais, regulando a germinação, crescimento e senescência (DECHEN; NACHTIGALL, 2007)

O Ca complexa com os grupos negativos de fosfatos e os carboxilas de fosfolipídios, proteínas e açúcares. Os grupos carboxílicos de pectinas opostas podem ser, eletrostaticamente, coordenados pelo Ca, que confere rigidez à parede celular (MAATHUIS, 2009).

O Ca é absorvido pelas raízes da solução de solo e transportado, de forma unidirecional, às partes superiores, por meio do xilema via corrente transpiratória. Somente atinge o xilema, via apoplasto, em locais em que não existam as estrias de Caspari ou estejam interrompidos, também, podem contorná-las entrando no citoplasma das células da endoderme não suberizadas (WHITE, 2001; WHITE; BROADLEY, 2003).

No xilema o Ca pode permanecer livre na forma iônica ou complexado com ácidos orgânicos como também pode permanecer ligado aos locais de trocas catiônicas nas paredes do xilema (KUMAR et al., 2015). Atinge o interior dos tecidos foliares vindo do xilema, por meio de extensões das vasos capilares e, quando depositado, não pode ser redistribuído das folhas por meio de floema para as partes restantes da planta (KUMAR et al., 2015). Ainda não foi reportado um movimento de Ca das folhas para os frutos, sementes e tubérculos (HO; WHITE 2005); somente, em condições especiais, o Ca pode ser redistribuído das folhas para

outras partes, como: injeção de outros cátions nas nervuras, tratamentos com os ácido tri-iodo tetracético, ácido málico ou cítrico (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006)

Quando a concentração de Ca, na solução do solo, é elevada, as plantas não conseguem absorver somente as quantidades necessárias, para o metabolismo, assim sendo, o excesso é precipitado sob a forma de oxalatos de Ca (HE et al., 2012).

A absorção do íon  $\text{Ca}^{2+}$ , ao longo da raiz, tende a diminuir com o aumento da distância da base até ao ápice. Estudos mostram que a absorção de Ca é maior na zona apical do que na zona basal da raiz (MARSCHNER, 2012).

No tomate a concentração de Ca nas paredes aumenta até a fase de crescimento imaturo, depois se registra um declínio na concentração até a fase de maturação. Realizar várias pulverizações com sais de Ca, durante o desenvolvimento do fruto, leva a aumento na firmeza e atraso no amadurecimento dos frutos (MARSCHNER, 2012; SAURE, 2005).

### **2.2.2 Deficiência de Ca e podridão apical (PA) no tomate**

A concentração de Ca, na maioria das soluções de solo, varia de 3,4 a 14 mM. No entanto a concentração de 0,1 a 1 mM, na zona radicular, é adequada desde que a concentração de outros íons não esteja em excesso (BANGERTH, 1979). As concentrações de Ca mudam temporária e espacialmente, em resposta a diferentes estímulos como a seca, stress osmótico, temperatura, luz e hormônios vegetais (BATISTIC; KUDLA, 2012).

Normalmente, maiores concentrações de  $\text{Ca}^{2+}$ , na solução do solo, resultam no aumento da concentração de Ca nas folhas e não em órgãos como frutos e tubérculos que são fornecidos, predominantemente, pelo floema, causando, por vezes, má formação ou defeitos dos órgãos (VITTI; LIMA; CICARONE, 2006).

A podridão apical é um distúrbio fisiológico atribuído à deficiência de cálcio nos frutos do tomateiro. Pode causar elevados danos econômicos pela perda de qualidade dos frutos (YOSHIDA; IRIE; VINH, 2014) e caracteriza-se pelo aparecimento de tecidos necróticos, na parte distal do fruto, os quais evoluem para uma mancha marrom em razão da permeabilidade da membrana que causa a morte celular (SAURE, 2014). Evidências que apontam a deficiência de Ca como a principal causa de podridão apical resultam do fato de que a região distal do fruto sempre possuir baixa concentração de Ca (ADAMS; HO, 1992).

Embora seja largamente aceito que a principal causa da ocorrência de podridão apical é a deficiência de Ca, existem estudos que afirmam que a podridão apical não é somente causada pela deficiência de Ca. Saure (2005, 2014) observou que podridão apical pode

ocorrer, em frutos com aparente concentração de Ca adequada nos tecidos, para o desenvolvimento normal dos frutos. Assim, a concentração total Ca, nos tecidos vegetais, não pode ser usada, para estimar o desenvolvimento de podridão apical, porque, em frutos com mesmas concentrações do Ca ou maiores, podem apresentar incidência elevada de podridão apical (NONAMI et al., 1995).

Não há nenhuma evidência conclusiva, para o papel de Ca, quando a podridão apical é induzida por vários estresses ambientais (SAURE, 2001) e, ainda, não existe uma concentração crítica de Ca que cause a incidência de podridão apical (TAYLOR; LOCASCIO, 2004).

Assim a podridão apical não é causada, exclusivamente, pela deficiência de cálcio ou não é, exclusivamente, estimulada por uma única condição, mas por uma série ou combinação de condições, tais como alta salinidade, altas concentrações de magnésio ( $Mg^{2+}$ ), amônio ( $NH_4$ ) e/ou potássio ( $K^+$ ). Outros fatores que levam ao desenvolvimento de podridão apical são o fraco desenvolvimento dos tecidos do xilema, crescimento acelerado, flutuações na umidade de solo (baixas ou altas), baixa concentração solúvel de Ca no solo, altas temperaturas, radiação solar e taxa de transpiração (HO; WHITE, 2005; TAYLOR; LOCASCIO, 2004).

### **2.3 Déficit hídrico e podridão apical**

A agricultura consome, atualmente, cerca 70 a 80% da água disponível das zonas áridas e semiáridas no mundo (FERERES; SORIANO, 2007). A água está cada vez mais escassa e causa redução no rendimento das culturas. Estudos mostram que as mudanças climáticas vão piorar ainda mais o cenário da agricultura com aumento das áreas áridas e eventos extremos. A irrigação, o uso de culturas adequadas e, principalmente, o uso eficiente da água é mais que fundamental para a produção de alimentos no mundo (CHAVES; OLIVEIRA, 2004; PATANÈ; TRINGALI; SORTINO, 2011)

Quando as plantas estão sob os efeitos de diferentes estresses ambientais, tais como a seca, salinidade, luz intensa, alta e baixa temperatura, elas ativam um complexo sistema fisiológico, metabólico e de defesa de modo a sobreviver e continuar com o crescimento. Dentre os vários estresses, a seca é a que mais limita a produtividade das culturas. Plantas submetidas à restrição hídrica, durante os diferentes estádios de desenvolvimentos, passam por várias alterações fisiológicas e de desenvolvimento (VALLIYODAN; NGUYEN, 2006).

Vários estudos foram realizados, nas últimas décadas, com o objetivo de utilizar, eficientemente, a água na agricultura, especialmente, nas regiões áridas e semiáridas. O déficit



hídrico é uma das estratégias de uso eficiente da água que foi amplamente estudado. O déficit hídrico consiste em irrigar as plantas com quantidades inferiores às necessárias para satisfazer a evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) (ENGLISH; RAJA, 1996).

Déficit hídrico é uma técnica de uso eficiente da água em que a irrigação é aplicada, durante os estádios de crescimento das culturas sensíveis à seca, fora desses períodos, a irrigação é limitada ou mesmo dispensável se as chuvas proporcionarem um fornecimento mínimo de água. A restrição de água é realizada, nos estádios vegetativos e no período de maturação tardio, que são tolerantes ao déficit hídrico (ENGLISH, 1990; GEERTS; RAES, 2009). Desta forma, o Déficit hídrico tem como objetivo manter a qualidade e aumentar o uso eficiente da água, em vez de obtenção de rendimentos máximos (GEERTS; RAES, 2009; SCHACHTMAN; GOODGER, 2008).

Existe evidência que aponta que a aplicação de déficit hídrico não reduz a produtividade significativamente. Culturas produzidas sob déficit hídrico obtêm o mesmo rendimento econômico quando comparadas às irrigadas regularmente (ENGLISH, 1990). O déficit hídrico utiliza a água, de forma eficiente, embora apresente um rendimento inferior. A qualidade do produto colhido (por exemplo, teor de açúcar, de tamanho de grão) tende a ser igual ou mesmo superior a produtos sob o cultivo com regas regulares (ENGLISH, 1990).

Em estudos sobre o efeito de déficit hídrico, na qualidade dos frutos, verificou-se que a redução na irrigação originou frutos de alta qualidade em termos de firmeza, sólidos totais e sólidos solúveis. O estresse hídrico, também, melhorou, significativamente, a cor dos frutos e o aumentou o teor de vitamina C. Estes componentes da qualidade são, também, afetados pelo momento e pelos estádios fisiológicos em que déficit hídrico é aplicado (PATANÈ; COSENTINO, 2010).

Tomate produzido, em diferentes níveis de tensão de água no solo, aplicada, em diferentes estágios da cultura, teve o rendimento total reduzido em cerca de 10%, quando foi aplicada uma rega correspondente a 50% de ET<sub>c</sub>, mas, em compensação, houve uma economia de cerca de 48% de água (PATANÈ; TRINGALI; SORTINO, 2011).

O efeito do estresse hídrico, na incidência de podridão apical, tem sido amplamente investigado. Existem estudos que associam podridão apical com a umidade insuficiente do solo, outros indicam que podridão apical não é inteiramente em virtude do estresse hídrico, mas pode ser agravada por ele (HO; WHITE, 2005).

Verificou se, em tomateiro produzido em diferentes substratos, que a incidência de podridão apical era maior em substratos com menor capacidade de retenção de água e este fato foi associado ao déficit hídrico (CARRIJO et al., 2004). Taylor, Locascio e Alligood

(2004) observaram que a porcentagem de frutos com PA reduz, quando as plantas são irrigadas a uma tensão da água do solo de 10 Kpa, em relação às plantas irrigadas a 25 Kpa.

Morales (2012) conclui que a incidência de podridão apical não é estimulada pelo stress hídrico apenas mas também é uma característica da herança genética. Em 21 famílias, submetidas ao déficit hídrico, duas delas apresentaram níveis de podridão apical abaixo de 20% e 6 famílias com níveis entre 20 e 50% e as restantes, 12, com uma incidência de podridão apical superior a 50%.

Estudos recentes apontam que o equilíbrio hormonal da planta pode influenciar a ocorrência de podridão apical sob certas condições. Fitohormônios desempenham um papel importante no controle do crescimento e desenvolvimento das plantas sob condições ambientais adversas. Pesquisas anteriores demonstram que as aplicações foliares de fitohormônios diminuíram a incidência de podridão apical e aumentaram a absorção de Ca no tecido de frutas (BARICKMAN; KOPSELL; SAMS, 2014; FREITAS et al., 2014; FREITAS; SHACKEL; MITCHAM, 2011).

### **2.3.1 Ácido Abscísico**

O ácido Abscísico (ABA) é um hormônio vegetal que coordena o crescimento e desenvolvimento das plantas durante todo o ciclo (CUTLER et al., 2010). Nas sementes em desenvolvimento, o ABA participa, no desenvolvimento do embrião, na indução de síntese das reservas de proteínas e lipídios, assim como para o início da dormência das sementes e aquisição de tolerância à dessecação (SEO; KOSHIBA, 2002; ZHANG et al., 2006). Na fase de crescimento vegetativo, o ABA desempenha um papel, no aumento na formação de raízes laterais, transpiração e, principalmente, na resposta a vários estresses ambientais como a seca e as condições de alta salinidade (SEO; KOSHIBA, 2002; WANG; CHEN; PAN, 2013). Alguns estudos mostram que o que ABA pode induzir a expressão de genes antioxidantes e melhorar a capacidade de sistemas de defesa antioxidantes (ZHANG et al., 2006).

#### **2.3.1.1 Ácido Abscísico e déficit hídrico**

O ABA é chamado de hormônio vegetal de estresse, por causa da sua rápida acumulação, em resposta a vários estresses e pela sua mediação de muitas respostas ao estresse, que ajudam na sobrevivência de plantas nestas condições. Em situações de estresse moderado, os tecidos radiculares de plantas começam a biossíntese do ABA, que é liberado,

para os vasos do xilema e transportado, para a parte aérea, em que regula os estômatos e atividades meristemáticas para minimizar o stress (HARTUNG; SAUTER; HOSE, 2002; JIANG; HARTUNG, 2008; SCHACHTMAN; GOODGER, 2008).

Alguns estudos apontam que nem todo o ABA que atua sobre as células guarda é sintetizado somente nas raízes. Verificou-se que algumas espécies como o tomate sintetizam o ABA nas folhas. Existem duas vias possíveis, para a biossíntese de ABA, sendo uma via direta na qual o ABA é derivado de composto pirofosfato de farnesilo. Na via indireta, ele seria derivado de um carotenoide (SEO; KOSHIBA, 2002).

O ABA confere às plantas a capacidade de regular a perda de água, por meio de fechamento parcial dos estômatos e ou desenvolvimento foliar reduzido, que ocorre muito antes da perda substancial do turgor das folhas ou algum dano irreversível a sistemas membranas internas (ZHANG et al., 2006). Os níveis de ABA aumentam mais de 10 vezes, em pouco tempo de estresse osmótico, conferindo às plantas uma tolerância ao estresse ambiental (KITAHATA et al., 2006).

A aplicação foliar de ABA no tomate reduziu a evapotranspiração (ET), resultando no fechamento dos estômatos, limitando, deste modo, a perda de água por transpiração e aumentando o uso eficiente da água (ASTACIO; VAN IERSEL, 2011). Existem pelo menos quatro sistemas reguladores independentes, para a expressão do gene em resposta ao estresse hídrico, dois são ABA-dependentes e dois ABA-independentes (VALLIYODAN; NGUYEN, 2006).

A concentração endógena de ABA é alterada, de acordo com as mudanças ambientais, principalmente, por um aumento em situações de estresse. O uso de fito-reguladores poderia ser considerado útil, a fim de melhorar o equilíbrio da água na planta, o crescimento e a produtividade (BRAY, 1991).

Na cultura de arroz produzido em campo sob condições de déficit hídrico, verificou-se que a aplicação de exógena de ABA aumentou todos os componentes da produção analisados e houve um acréscimo significativo do rendimento por hectare (mais de 15%) em comparação ao controle (TRAVAGLIA et al., 2012). A aplicação de ABA, por via foliar ou irrigação, nas plantas sob o estresse hídrico, retardou a murchidão visível, nas plantas de crescimento rápido, usadas na floricultura e aumentou a vida de prateleira (WATERLAND et al., 2010).

O ABA diminuiu, significativamente, a incidência e severidade de sintomas da doença *A. solani* no tomate inoculado com o fungo (SONG et al., 2011). As aplicações de foliares de ABA em tomate estimularam o crescimento vegetativo, em condições de estresse hídrico, assim como em condições de rega (AROCA et al., 2008).

### **2.3.1.2 Ácido Abscísico e podridão Apical**

O ABA induz o fechamento dos estômatos e reduz a transpiração, o que resulta na redução de absorção de água (ASTACIO; VAN IASEL, 2011; FREITAS et al., 2014; FREITAS; SHACKEL; MITCHAM, 2011). Como o transporte de Ca é feito via corrente transpiratória (MARSCHNER, 2012; WHITE; BROADLEY, 2003), a redução da transpiração da planta, causada pela aplicação de ABA, pode reduzir o movimento da seiva do xilema, em direção às folhas maduras e aumentar o fluxo da seiva, em direção aos frutos, que tem baixa transpiração. Com isso, aumentaria o acúmulo de Ca no fruto e diminuiria a susceptibilidade do fruto aos distúrbios de deficiência de Ca (FREITAS et al., 2014; FREITAS; SHACKEL; MITCHAM, 2011).

Estudos realizados demonstram que a absorção de Ca é afetado pelo ABA. Plantas de tomate tratadas com ABA apresentam maior número de vasos de xilema funcionais resultando na maior absorção de Ca para os frutos (FREITAS et al., 2014; FREITAS; SHACKEL; MITCHAM, 2011). Em estudos realizados por Freitas et al. (2014), os autores concluíram que a aplicação foliar de ABA no tomate suprime a podridão apical enquanto plantas não tratadas apresentaram uma taxa de PA que varia entre 30 a 40%. Por sua vez, Barickman, Kopsell e Sams (2014) concluíram que o ABA, combinado com diferentes doses de Ca, reduziu a incidência de apical. Os mesmos autores afirmam que o ABA aumenta a concentração de Ca, na região distal do fruto e, deste modo, há maior alocação de Ca, para a região, que se encontra em rápido crescimento e divisão celular.

### **2.3.1.3 Ácido Abscísico e qualidade de frutos**

Qualidade é um termo bastante vago, o qual deve ser definido de acordo com a finalidade do tomate e do consumidor final. Vários atributos, tais como sólidos solúveis, açúcares, acidez e pH são atributos de qualidade importantes tanto para o tomate de mesa quanto para o de processamento. Por sua vez, parâmetros como sabor e vida útil são mais importantes para o tomate de mesa (CUARTERO; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, 1999). A qualidade pode ser influenciada por um conjunto de fatores genéticos e ambientais e varia conforme as cultivares.

A qualidade do fruto, também, é determinada pelo seu estágio de desenvolvimento, pois, durante o amadurecimento, há uma mudança importante no conteúdo de antioxidantes. Tomates colhidos no estágio totalmente maduro apresentam maiores níveis de carotenoides e

atividade antioxidante, na fração insolúvel em água, enquanto o conteúdo fenólico principal e a atividade antioxidante da fração solúvel em água diminuem em estádios de maturação mais avançados (BECKLES et al., 2012).

Os programas de melhoramento concentram-se em desenvolver cultivares de tomate adequadas para maior produtividade e prolongar a vida útil. Por outro lado, muitas vezes, negligenciam aspectos importantes como o sabor que vai determinar a qualidade do tomate (BECKLES et al., 2012). A quantidade da água aplicada, durante a irrigação, pode afetar a qualidade nutricional do tomate, independentemente, do manejo do fertilizante e do sistema de irrigação. O teor de vitamina C no fruto do tomate reduz-se com baixas tensões da água no solo (DORAIS; EHRET; PAPADOPOULOS, 2008).

Recentemente foram desenvolvidas pesquisas com o objetivo de melhorar a qualidade dos frutos do tomate. Pesquisadores têm estudado o efeito de hormônios vegetais para aumentar atributos tais como açúcares solúveis, ácidos orgânicos, cor de frutos e firmeza (BARICKMAN; KOPSELL; SAMS, 2016; GU; JACOBS; DU, 2011; ZHANG; WHITING, 2013). O ABA é o regulador de crescimento mais investigado na melhoria da qualidade. Existem estudos que afirmam que o ABA promove a maturação do tomate (SEYMOUR et al., 2013).

O silenciamento do gene que codifica a enzima chave, na biossíntese de ABA, afeta várias vias metabólicas de parede celular relacionadas com maturação do fruto no tomate, tais como poligalacturonase e pectina metilesterase. Além disso, melhora a vida útil dos frutos, reduzindo o amaciamento (SUN et al., 2012). Essas constatações sugerem que o ABA participa, ativamente, no processo de maturação. Também observou-se que os níveis de ABA aumentam, no início e/ou durante o processo de amadurecimento, nos frutos climatérios (KARLOVA et al., 2014; ZHANG; YUAN; LENG, 2009; ZHARAH et al., 2013).

#### **2.3.1.4 Efeito de ácido Abscísico nos sólidos solúveis e acidez titulável**

As concentrações de açúcares e ácidos orgânicos tendem a aumentar durante o processo de amadurecimento (PATANÈ; COSENTINO, 2010). O sabor doce e azedo do tomate é estabelecido pelas concentrações de açúcares e são essenciais para o seu sabor intenso. O aumento das concentrações de açúcar proporciona maior proporção de açúcar para ácidos orgânicos (relação SS/AT) fazendo a fruta mais saborosa. Frutos com relação SS/AT acima de 10 são considerados de melhor qualidade (MENCARELLI; SALTVEIT, 1988).

Ácidos orgânicos são responsáveis pelo sabor azedo e equilibram o sabor adocicado do tomate. O ácido cítrico e o málico compreendem mais de 90% dos ácidos orgânicos totais nos tomates, os quais mais contribuem para o sabor ácido do tomate.

Vários estudos apontam que a aplicação de ABA, nas uvas (KOYAMA et al., 2014), tomate (BARICKMAN; KOPSELL; SAMS, 2016), pêra (GREENE, 2012), pêssego (KOBASHI et al., 2001) e cerejas, (KONDO; INOUE, 1997) aumenta a concentração de SS e reduz a concentração de acidez nos frutos. No entanto a eficácia do ABA depende do momento da aplicação e, em outros casos, da dose aplicada e do método de aplicação.

Gu, Jacobs e Du (2011) afirmam que a concentração de SS na uva teve um aumento ligeiro quando o ABA foi aplicado depois inicio da mudança de cor. Estudos realizados em peras concluíram que o ABA aumentou a concentração de SS quando foi aplicado em frutos com 10 mm de diâmetro (GREENE, 2012). No entanto, na maçã, o ABA não influenciou a concentração de SS (GREENE, 2012). O ABA, também, aumentou a concentração de SS, quando foi aplicado no período pós-colheita na manga (ZHARAH et al., 2012) e no tomate (ZHANG; YUAN; LENG, 2009). O aumento e diminuição de SS são causados pelo aumento do etileno durante o amadurecimento.

### **2.3.1.5 Ácido Abscísico na firmeza e nas concentrações pectina solúvel e pectina total**

A pectina é um polissacarídeo que desempenha a função de manter a resistência da parede celular. Maiores concentrações de pectina solúvel nos frutos amolece as paredes celulares e torna-os menos firmes (TAIZ; ZEIGER, 2009). O ABA aumenta a concentração de pectina no tomate aplicado a partir estádios de amadurecimento “mature Green” (SUN et al., 2012).

Os efeitos do ABA, no parâmetro firmeza, ainda, apresenta resultados diferentes em muitos estudos. Existem estudos que apontam que o ABA melhora a firmeza dos frutos de uvas (BURAN et al., 2012; KOYAMA et al., 2014), cerejas (KONDO; INUE, 1997) e outros dizem que o ABA reduz a firmeza, ao aumentar a produção de etileno e, conseqüentemente, amolecendo os frutos de manga (ZAHARAH et al., 2013) e tomate (SUN et al., 2012; ZHANG; YUAN; LENG, 2009). No entanto em estudos nos quais se afirmam que o ABA reduz a firmeza nos frutos, o tratamento foi realizado no pós-colheita ou um pouco antes da colheita.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS, P.; HO, L. C. The susceptibility of modern tomato cultivars to blossom-end rot in relation to salinity. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 67, n. 6, p. 827-839, 1992.
- AROCA, R. et al. Plant responses to drought stress and exogenous ABA application are modulated differently by mycorrhization in tomato and an ABA-deficient mutant (sitiens). **Microbial Ecology**, New York, v. 56, n. 4, p. 704-719, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DO COMÉRCIO DE SEMENTES E MUDAS. **Tomaticultura**: valioso segmento do agronegócio nacional. 2012. Disponível em: <<http://www.abcsem.com.br/noticia.php?cod=2420>>. Acesso em: 22 mar. 2014.
- ASTACIO, M. G.; VAN IERSEL, M. W. Determining the effects of abscisic acid drenches on evapotranspiration and leaf gas exchange of tomato. **HortScience**, Alexandria, v. 46, n. 11, p. 1512-1517, 2011.
- ATKINSON, C. J. Is xylem sap calcium responsible for reducing stomatal conductance after soil liming?. **Plant and Soil**, The Hague, v. 382, n. 1-2, p. 349-356, 2014.
- BANGERTH, F. Calcium-related physiological disorders of plants. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 17, n. 1, p. 97-122, 1979.
- BARICKMAN, T. C.; KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E. Abscisic Acid Impacts Tomato Carotenoids, Soluble Sugars, and Organic Acids. **HortScience**, Alexandria, v. 51, n. 4, p. 370-376, 2016.
- BARICKMAN, T. C.; KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E. Foliar applications of abscisic acid decrease the incidence of blossom-end rot in tomato fruit. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 179, p. 356-362, 2014.
- BATISTIČ, O.; KUDLA, J. Analysis of calcium signaling pathways in plants. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects**, Amsterdam, v. 1820, n. 8, p. 1283-1293, 2012.
- BECKLES, D. M. et al. Biochemical factors contributing to tomato fruit sugar content: a review. **Fruits**, Paris, v. 67, n. 1, p. 49-64, 2012.
- BURAN, T. J. et al. Effects of exogenous abscisic acid on fruit quality, antioxidant capacities, and phytochemical contents of southern high bush blueberries. **Food Chemistry**, London, v. 132, n. 3, p. 1375-1381, 2012.
- CARRIJO, O. A. et al. Produtividade do tomateiro em diferentes substratos e modelos de casas de vegetação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 1, p. 5-9, 2004.
- CHAVES, M. M.; OLIVEIRA, M. M. Mechanisms underlying plant resilience to water deficits: prospects for water-saving agriculture. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 407, p. 2365-2384, 2004.
- CUARTERO, J.; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, R. Tomato and salinity. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 78, n. 1, p. 83-125, 1998.

CUTLER, S. R. et al. Abscisic acid: emergence of a core signaling network. **Annual Reviews Plant Biology**, Palo Alto, v. 61, p. 651-679, 2010.

DECHEN, A.; NACHTIGALL, G. Elementos requeridos à nutrição de plantas. In: NOVAIS, R. **Fertilidade de solo**, Viçosa, MG: UFV, 2007.

DORAIS, M.; EHRET, D. L.; PAPADOPOULOS, A. P. Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. **Phytochemistry Reviews**, Cham, v. 7, n. 2, p. 231-250, 2008.

ENGLISH, M. Deficit irrigation. I: analytical framework. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v. 116, n. 3, p. 399-412, 1990.

ENGLISH, M.; RAJA, S. Perspectives on deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 32, n. 1, p. 1-14, 1996.

FERERES, E.; SORIANO, M. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 58, n. 2, p. 147-159, 2007.

FREITAS, S. T. et al. Calcium partitioning and allocation and blossom-end rot development in tomato plants in response to whole-plant and fruit-specific abscisic acid treatments. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 1, p. 235-247, 2014.

FREITAS, S. T.; SHACKEL, K. A.; MITCHAM, E. J. Abscisic acid triggers whole-plant and fruit-specific mechanisms to increase fruit calcium uptake and prevent blossom end rot development in tomato fruit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n. 8, p. 2645-2656, 2011.

GEERTS, S.; RAES, D. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. **Agricultural water management**, Amsterdam, v. 96, n. 9, p. 1275-1284, 2009.

GREENE, D. W. Influence of abscisic acid and benzyladenine on fruit set and fruit quality of 'Bartlett' pears. **HortScience**, Alexandria, v. 47, n. 11, p. 1607-1611, 2012.

GU, S.; JACOBS, S.; DU, G. Efficacy, rate and timing of applications of abscisic acid to enhance fruit anthocyanin contents in 'Cabernet Sauvignon' grapes. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, London, v. 86, p. 505-510, 2011.

HARTUNG, W.; SAUTER, A.; HOSE, E. Abscisic acid in the xylem: where does it come from, where does it go to? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 366, p. 27-32, 2002.

HE, H. et al. Precipitation of calcium, magnesium, strontium and barium in tissues of four Acacia species (Leguminosae: Mimosoideae). **PloS one**, San Francisco, v. 7, n. 7, p. e41563, 2012.

HO, L. C.; WHITE, P. J. A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. **Annals of Botany**, London, v. 95, n. 4, p. 571-581, 2005.



INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Brasília, 2016.

KITAHATA, N. et al. A 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase inhibitor for use in the elucidation of abscisic acid action mechanisms. **Bioorganic & Medicinal Chemistry**, Oxford, v. 14, n. 16, p. 5555-5561, 2006.

JIANG, F.; HARTUNG, W. Long-distance signalling of abscisic acid (ABA): the factors regulating the intensity of the ABA signal. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 59, n. 1, p. 37-43, 2008.

KOBASHI, K. et al. Effect of abscisic acid (ABA) on sugar accumulation in the flesh tissue of peach fruit at the start of the maturation stage. **Plant Growth Regulation**, New York, v. 35, n. 3, p. 215-223, 2001.

KONDO, S.; INOUE, K. Abscisic acid (ABA) and 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid (ACC) content during growth of 'Satohnishiki' cherry fruit, and the effect of ABA and ethephon application on fruit quality. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 72, n. 2, p. 221-227, 1997.

KOYAMA, R. et al. Exogenous abscisic acid increases the anthocyanin concentration of berry and juice from 'Isabel' grapes (*Vitis labrusca* L.). **HortScience**, Alexandria, v. 49, n. 4, p. 460-464, 2014.

KUMAR, A. et al. Calcium transport from source to sink: understanding the mechanism (s) of acquisition, translocation, and accumulation for crop biofortification. **Acta Physiologiae Plantarum**, Heidelberg, v. 37, n. 1, p. 1-14, 2015.

MAATHUIS, F. J. M. Physiological functions of mineral macronutrients. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 12, n. 3, p. 250-258, 2009.

MAKISHIMA, N.; MELO, W. F. **O Reis das hortaliças, cultivar hortaliças e frutos**. Brasília: Embrapa, 2005. Disponível em: <[http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/hf29\\_rei.pdf](http://www.grupocultivar.com.br/arquivos/hf29_rei.pdf)>. Acesso em: 22 mar. 2014.

MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. 3<sup>rd</sup> ed. Amsterdam: Academic, 2012.

MENCARELLI, F.; SALTVEIT, M. E. Ripening of mature-green tomato fruit slices. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 113, n. 5, p. 742-745, 1988.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Agricultura Pecuária e Abastecimento. Subsecretaria do Agronegócio. **Tomate**. Belo Horizonte, 2016.

MORALES, R. G. F. **Resistência ao déficit hídrico em famílias de tomateiro derivados de *Solanum pennellii***. 2012. 93 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

NONAMI, H. et al. Blossom-end rot of tomato plants may not be directly caused by calcium deficiency. **Hydroponics and Transplant Production**, Kyoto, v. 396, p. 107-114, 1995.

PATANÈ, C.; COSENTINO, S. L. Effects of soil water deficit on yield and quality of processing tomato under a Mediterranean climate. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 97, n. 1, p. 131-138, 2010.

PATANÈ, C.; TRINGALI, S.; SORTINO, O. Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 129, n. 4, p. 590-596, July 2011.

SAURE, M. C. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) - a calcium-or a stress-related disorder? **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 90, n. 3, p. 193-208, 2001.

SAURE, M. C. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 105, n. 1, p. 65-89, 2005.

SAURE, M. C. Causes of the tipburn disorder in leaves of vegetables. **Scientia horticulturae**, Amsterdam, v. 76, n. 3, p. 131-147, 1998.

SAURE, M. C. Reassessment of the role of calcium in development of bitter pit in apple. **Functional Plant Biology**, Victoria, v. 23, n. 3, p. 237-243, 1996.

SAURE, M. C. Why calcium deficiency is not the cause of blossom-end rot in tomato and pepper fruit—a reappraisal. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 174, p. 151-154, 2014.

SCHACHTMAN, D.; GOODGER, J. Chemical root to shoot signaling under drought. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 13, n. 6, p. 281-287, 2008.

SEO, M.; KOSHIBA, T. Complex regulation of ABA biosynthesis in plants. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 7, n. 1, p. 41-48, 2002.

SEYMOUR, G. B. et al. Fruit development and ripening. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 64, p. 219-241, 2013.

SILVA, J. B. et al. **Cultivo de tomate para Industrialização, composição nutricional**. 2006. Disponível em: <[https://sistemas.deproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial\\_2ed/composicao.htm](https://sistemas.deproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/composicao.htm)> Acesso em: 14 dez. 2016.

SONG, W. et al. Abscisic acid enhances resistance to *Alternaria solani* in tomato seedlings. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v. 49, n. 7, p. 693-700, 2011.

SUN, L. et al. Suppression of 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase, which encodes a key enzyme in abscisic acid biosynthesis, alters fruit texture in transgenic tomato. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 158, n. 1, p. 283-298, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009.

TAYLOR, M. D.; LOCASCIO, S. J.; ALLIGOOD, M. R. Blossom-end rot incidence of tomato as affected by irrigation quantity, calcium source, and reduced potassium. **HortScience**, Alexandria, v. 39, n. 5, p. 1110-1115, 2004.

TAYLOR, M. D.; LOCASCIO, S. J. Blossom-end rot: a calcium deficiency. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 27, n. 1, p. 123-139, 2004.

TRAVAGLIA, C. et al. ABA action on the production and redistribution of field-grown maize carbohydrates in semiarid regions. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v. 67, n. 1, p. 27-34, 2012.

VALLIYODAN, B.; NGUYEN, H. T. Understanding regulatory networks and engineering for enhanced drought tolerance in plants. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 9, n. 2, p. 189-195, 2006.

VITTI, G.; LIMA, E.; CICARONE, F. Calcio, magnesio e enxofre; in: nutrição mineral de plantas. In: MANLIO, S. F. (Ed.). **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 299-325.

WANG, J.; CHEN, J.; PAN, K. Effect of exogenous abscisic acid on the level of antioxidants in *Atractylodes macrocephala* Koidz under lead stress. **Environmental Science and Pollution Research**, Dordrecht, v. 20, n. 3, p. 1441-1449, 2013.

WATERLAND, N. L. et al. Abscisic acid application enhances drought stress tolerance in bedding plants. **HortScience**, Alexandria, v. 45, n. 3, p. 409-413, 2010.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Calcium in plants. **Annals of Botany**, London, v. 92, n. 4, p. 487-511, 2003.

WHITE, P. J. The pathways of calcium movement to the xylem. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 52, n. 358, p. 891-899, 2001.

WORLD PROCESSING TOMATO COUNCIL. 2016. Disponível em: <<http://www.wptc.to/pdf/releases/WPTC%20World%20Production%20estimate%20as%20of%2027%20October%202016.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2016.

YOSHIDA, Y.; IRIE, N.; VINH, T. Incidence of blossom-end rot in relation to the water-soluble calcium concentration in tomato fruits as affected by calcium nutrition and cropping season. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, Tokyo, v. 83, n. 4, p. 282-289, 2014.

ZAHARAH, S. S. et al. Mode of action of abscisic acid in triggering ethylene biosynthesis and softening during ripening in mango fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 75, p. 37-44, 2013.

ZHANG, C.; WHITING, M. Plant growth regulators improve sweet cherry fruit quality without reducing endocarp growth. **Scientia Horticulturae**, v. 150, p. 73-79, 2013.

ZHANG, J. et al. Role of ABA in integrating plant responses to drought and salt stresses. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 97, n. 1, p. 111-119, 2006.

ZHANG, M.; YUAN, B.; LENG, P. The role of ABA in triggering ethylene biosynthesis and ripening of tomato fruit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, n. 6, p. 1579-1588, 2009.

## CAPÍTULO 2 - USE OF ABSCISIC ACID TO IMPROVE TOMATO FRUIT QUALITY

### ABSTRACT

The use of abscisic acid (ABA) in agriculture has increased in the last few years due to the increase in ABA commercial availability at lower costs. The objective of this study was to determine the effect of exogenous ABA on tomato fruit quality parameters such as soluble solids (SS), total and soluble pectins, titratable acidity and flesh firmness. The study followed a complete randomized block design, with five replications per treatment. The treatments were plants not treated with ABA (control), foliar sprayed with ABA at 500 mg.L<sup>-1</sup>, 150 mL drench with ABA at 500 mg.L<sup>-1</sup>, or foliar plus drench treated with ABA. All treatments were weekly applied to the plants from anthesis to harvest at fully maturity. Root treatment increased SS by up to 26.12%, increased ratio SS/TA, firmness and decreased soluble pectin. According to the results, foliar and root ABA application can improve fruit quality.

**Keywords:** Plant hormone. Soluble solids. Firmness. Pectin.

## RESUMO

Nos últimos anos, o uso do ácido abscísico (ABA), na agricultura, tem aumentado em decorrência do aumento da produção comercial de ABA a custo mais baixo. O objetivo deste estudo foi analisar o efeito da aplicação externa de ABA, nos parâmetros de qualidade dos frutos de tomate como sólidos solúveis (SS), pectina total, pectina solúvel, acidez titulável e firmeza da polpa. O estudo seguiu um delineamento em blocos ao acaso, com cinco repetições por tratamento. Os tratamentos consistiram em plantas não tratadas com ABA (controle), pulverização foliar com ABA a  $500 \text{ mg.L}^{-1}$ , tratamento radicular com 150 mL de solução de ABA a  $500 \text{ mg.L}^{-1}$  ou combinação de foliar e radicular. Todos os tratamentos foram aplicados, semanalmente, às plantas desde a antese até a colheita na maturidade. O tratamento da raiz aumentou o teor de SS em até 26.12%, aumentou a firmeza e diminuiu a pectina solúvel. De acordo com os resultados, a aplicação de ABA via foliar ou radicular pode melhorar a qualidade dos frutos.

**Palavras-chaves:** Hormônios vegetais. Sólidos solúveis. Pectina. Firmeza.

## 1 INTRODUCTION

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most cultivated and consumed vegetable worldwide. Quality and yield of tomatoes are determined by genetic and environmental factors, which influence the levels of vitamins, antioxidants, soluble solids, titratable acidity, and other compounds in the fruit (HO, 1996; LIU et al., 2009). More than 60% of the dry matter is made up of sugars and organic acids and it is essential that high level of sugars and acidity are balanced.

Abscisic acid (ABA) is a plant growth regulator involved in many plant processes such as on mechanisms determining fruit quality (BURAN et al., 2012; ZAHARAH et al., 2013; ZHANG; WHITING, 2013). Endogenous ABA may accelerate ripening as ABA levels increases rapidly after the beginning of fruit ripening (SUN et al., 2010). Southern high-bush blueberries treatment with exogenous ABA delays fruit ripening and promotes fruit softening (BURAN et al., 2012). ABA has been used in grapevine for color enhancement and improvement of fruit ripening (GU; JACOBS; DU, 2011).

Exogenous ABA improved the uptake of sugar into vacuoles in immature apple fruits (YAMAKI; ASAKURA, 1991), and increased the sugar concentration of developing citrus fruit (LENG; YUAN; GUO, 2014). In tomato, ABA treatment is reported to increase soluble solids (SS) and decreased firmness as a result of high ethylene production (SUN et al., 2012; ZHANG; YUAN; LENG, 2009).

Due to the high cost of ABA, it was not until recently a considered as commercially alternative for the horticultural industry. However, the cost of ABA has reduced dramatically in recent years and, therefore is now available for commercial use, offering a new tool for fruit improvement in horticulture (GU; JACOBS; DU, 2011). The objective of this study was to determine the effect of exogenous ABA on the tomato fruit quality parameters such as soluble solids, total pectin, soluble pectin, titratable acidity, flesh firmness.

## 2 MATERIAL AND METHODS

Tomato (*Solanum lycopersicum*) seeds cultivar 'Santa Clara' were sown in a 78 cell plastic trays and germinated in a protected environment (non-heated green house) of the Department of Agriculture of the Federal University of Lavras, Minas Gerais, Brazil from February to July 2016. At 35 days after sowing, plants were transferred to greenhouse (non-heated green house), 30 m long, 10 m wide and 3.0 m height, covered by plastic film (150  $\mu\text{m}$ ).

Plants were grown in 10L pots filled with soil. The experiment set up was a complete randomized block design, with four treatments and five replications per treatment. Each replication was composed by 10 plants. ABA treatments were applied as foliar, root and combination of root and foliar.

Foliar application consisted of 0.0 mg. L<sup>-1</sup> (deionised water) or 500 mg. L<sup>-1</sup> of ABA sprayed to the plants. All sprayed solutions contained 0.5 mL. L<sup>-1</sup> of Maxx organosilicone (Sumitomo Chemical, NSW, Australia) as surfactant. The plants were sprayed until foliage dripping. Root treatment consisted of 150 mL of 500 mg. L<sup>-1</sup> ABA drenched once a week. The combination of root and foliar treatments consisted of both treatments (500 mg. L<sup>-1</sup> foliar spray + 500 mg. L<sup>-1</sup> drenched) applied simultaneously to the same plants. All treatments were made from anthesis to mature green. Plants were drip irrigated twice a day, in the morning and afternoon.

The soil chemical and physical analysis showed pH in CaCl<sub>2</sub> = 5.4; K<sup>+</sup> = 70 mg dm<sup>-3</sup>; P = 2.91 mg dm<sup>-3</sup>; P-Rem = 27.41 mg.L<sup>-1</sup>; Ca<sup>+2</sup> = 2.12 cmol.dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>+2</sup> = 0.74 cmol.dm<sup>-3</sup>; OM = 1.64 dag.kg<sup>-1</sup>; H+Al = 3.35 cmol.dm<sup>-3</sup>; SB = 3.04 cmol.dm<sup>-3</sup>; V = 47.6%; and granulometry of 46% sand, 36% clay and 18% of silt.

One month before transplanting the soil was corrected with addition of 1.43 Mg.ha<sup>-1</sup> of dolomite in order to increase base saturation to 70% and follow the fertilization program according to soil recommendation of the Minas Gerais State (GOMES; SILVA; FAQUIN, 1999).

Fifteen days after transplant (DAT), plants were treated with deltametrina, acephate, triflumuron and thiamethoxam for pest management. The treatment followed the necessary recommendation. At 30, 45 and 60 DAT plants were treated with azoxystrobin and iprodione for disease management.

## 2.1 Chemical and physical analyses

In each replication, 16 whole fruit, from first cluster, without any visual symptom of blossom-end rot or diseases, were harvested and crushed. A sub sample of 5.0 g were analysed in triplicate. Total and soluble pectin was determined as proposed by McCready and McComb (1952) and were quantified as percentage of galacturonic acid, according to the colorimetric method described by Bitter and Muir (1962).

Soluble solids (SS) were determined in the juice by direct reading on a digital refractometer (Hanna, H96801, NJ, USA) and the results were expressed as percentage. Titratable acidity (TA) was determined by titration of 5 mL of juice diluted in 50 mL of deionised water with NaOH solution ( $0.1\text{molL}^{-1}$ ) using phenolphthalein as indicator. The results were expressed as percentage of citric acid. The pH was measured with the pH meter Tec-3MP (Tecnal, Brazil). Firmness was determined with a digital penetrometer, 5 mm (Instruntherm, PTR-300, Brazil) and the result expressed as Newton ( $\text{Nmm}^2$ ).

## 2.2 Statistical analyses

Analysis of variance (ANOVA) was performed for each variable using the R software package. The mean values were compared by Scott-Knott's test ( $P=0.05$ ).



### 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 The effect of exogenous ABA on fruit soluble solids

ABA treatments resulted in higher SS content in tomato fruit, compared with non-treated fruit (Table 1). Other studies have also shown that external ABA can improve SS content in tomato (BARICKAMAN et al., 2016; SUN et al., 2012), in grape (KOYAMA et al., 2014), and mango (ZAHARAH et al., 2013). In addition, external ABA has been shown to increase SS in tomato during ripening through the activity of sucrose synthase (SUS) and the over expressing SUS genes (BASTIAS et al., 2011).

The root ABA treatment had the highest SS concentration, increasing SS by up to 26.18% compared to controls, whereas the combination of foliar and root ABA treatments increased by 16.24% and the foliar ABA treatment increased by 13.80%. Regardless of the application method deployed, ABA increased SS in tomato fruit, but the method of application did affect final SS content in the fruit. In blueberries, ABA treatment increased SS when applied after cuticular fractures have happened (KONDO; INUE 1997), and in grape the SS increased when ABA was applied in “véraison” stage (KOYAMA et al., 2014).

**Table 1 - Soluble solids (SS), titratable acidity (TA) and pH values in tomato fruit treated with exogenous ABA (foliar, root, and foliar/root.) and control (deionised water) applied from anthesis to mature green.**

Treatment	SS (%)	TA (mg/100g)	Ratio SS/TA	pH
Control	4.23 c	0.24 b	17.25 a	4.44 a
Foliar	5.10 b	0.30 a	17.03 a	4.35 b
Foliar/Root	4.85 b	0.26 b	18.78 a	4.41 a
Root	5.73 a	0.30 a	19.10 a	4.36 b

Means with the same letter within a column are not significantly different (P=0.05) according to Scott-Knott's test.

Although the previous studies were focused on ABA application in postharvest (ZAHARAH et al., 2013; ZHANG; YUAN; LENG, 2009), in this study it was found that ABA treatment enhances SS content, improving fruit quality and taste. Fruit quality is determined by high sugar content and appropriate sugar/acid ratio (RIPOLL et al., 2014). Furthermore, ABA is associated with the fruit ripening through ethylene increase (ZHANG; YUAN; LENG, 2009),

because a number of pathways of metabolites of fruit ripening were affected when the ABA inhibitor biosynthesis was applied in tomato fruits (SUN et al., 2012).

### **3.2 Effect of external ABA on fruit titratable acidity and pH**

The results demonstrated that titratable acidity improved in foliar and root ABA treated fruit when comparing with non-treated fruit (table 1). The level of acidity is a parameter that affects the tomato taste such as flavour and astringency. These results are in agreement with reported in the literature: the decrease in organic acidity followed by exogenous ABA application has been reported in tomato (BARICKMAN; KOPSELL; SAMS, 2016; ZHANG; YUAN; LENG, 2009), in mango (ZAHARAH et al., 2013), in grape (KOYAMA et al., 2014). Furthermore, treating tomato with ABA promotes carotenoids synthesis and reduces organic acids concentration (BARICKMAN; KOPSELL; SAMS, 2016).

Fruit juice pH decreased in foliar and root ABA treatments. The pH ranged from 4.35 to 4.43, the lowest pH being observed in ABA foliar treatment and the highest in the control, non-treated fruit. The acidity not only influences the tomato taste but also affects the processing quality of tomato. In processing tomato a pH below 4.6 it is desirable in order to control microbial spoilage and enzyme inactivation (GARCIA; BARRETT, 2006). In addition, Gu, Jacobs e Du (2011) found that different rates and timing of ABA application in grape reduce slightly both TA and pH.

The statistical analyses of the results indicate there were no differences in SS/TA ratio (Table 1). Balanced taste is determined by the SS/TA ratio. The best tomato taste is a combination of high sugar concentration and moderately high acids, low sugar and high acids result in a sour tastes, high sugars and low acids a bland taste and low sugars and low acids is a tasteless fruit (CUARTERO; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, 1998). Tomato containing more than 0.3% TA and 3% SS, and the ratio SS/TA more than 10 are considered high quality fruits (MENCARELLI; SALTVEIT, 1988). Our results demonstrated that foliar and root ABA treatments slightly improved the SS/TA ratio, hence better taste. Although the control treatment had the greater ratio than foliar treatment, the TA content in control treatment is less than 0.3%.

### **3.3 Effects of exogenous ABA on fruit solubles and total pectin and flesh firmness**

External ABA significantly decreased soluble pectin in fruit tissue, whereas the total pectin increased only in ABA foliar treatment (Table 2). The soluble and total pectin content are directly related to the firmness of the fruit. Fruit softening is caused by cell wall structure breakdown

resulting in soluble pectin increase due to activity of wall degradation enzyme activity (enumerar as enzimas, Maluf), therefore, high concentration of soluble pectin decrease fruit firmness (MAJIDI et al., 2014). This study found that ABA root treatment decreased soluble pectin by 34.50%, ABA applied in both roots and foliar decreased by 12.90%, and ABA foliar treatment decreased soluble pectin by 12.20%, relatively to the control treatment.

**Table 2 - Total and soluble pectin in tomato fruit under 3 ABA treatments applied from anthesis to mature green.**

Treatment	Total Pectin (mg/100g)	Soluble Pectin (mg/100g)	Firmness (N.m <sup>-2</sup> )
Control	393.81 b	128.27 a	12.14 b
Foliar	587.80 a	112.53 b	13.78 b
Foliar /Root	407.19 b	111.69 b	14.36 a
Root	378.33 b	84.08 c	15.62 a

Means with the same letter within a column are not significantly different (P=0.05) according to according to Scott-Knott's test.

ABA treatments increased fruit flesh firmness, excluding foliar treatment, that did not differ statically with control. ABA applied to the root increased flesh firmness by 22.30%. Combination of foliar and root ABA treatments increased fruit flesh firmness by 15.50% and 11.91%, respectively. Our results are in this aspect contradict some reports in the literature. Tomato fruit harvested at the mature green stage and treated with ABA were softer than non-treated fruit (ZHANG; YUAN; LENG, 2009), and ABA treatment decreased mango firmness during ripening by promoting ethylene biosynthesis that led to fruit softening (ZAHARAH et al., 2013). The contradiction may result in fact that in these experiments ABA were applied in post harvest.

In our study, ABA sprayed to the plant or added to the roots reduced pectin solubilisation, therefore maintaining higher levels of pectins bound to the cell wall, which contributed to higher fruit flesh firmness. This discrepancy may be due to the fact that ABA application in whole plant would reduce plant transpiration by closing the stomata (ASTACIO; VAN IERSEL, 2011; FREITAS et al., 2014) and therefore would increase Ca uptake and concentration in the fruit (BARICKMAN; KOPSELL; SAMS, 2014; FREITAS et al., 2014), therefore maintaining and strengthening wall cell integrity and fruit firmness (HO; WHITE, 2005). Dipping fruits in solution of CaCl<sub>2</sub> during postharvest increases fruit firmness because Ca binds to the cell wall, increasing cell wall strength and limiting the activity of cell wall degrading enzymes that solubilise pectin (VICENTE et al., 2007), a fact that supports the previous explanation.

#### **4 CONCLUSION**

ABA application to leaves and roots can improve fruit quality by increasing the SS, ratio SS/TA. The method of application affects the SS content.

## REFERENCES

- ASTACIO, M. G.; VAN IERSEL, M. W. Concentrated exogenous abscisic acid drenches reduce root hydraulic conductance and cause wilting in tomato. **HortScience**, Alexandria, v. 46, p. 1640-1645, 2011.
- BARICKMAN, T. C.; KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E. Abscisic acid impacts tomato carotenoids, soluble sugars, and organic acids. **HortScience**, Alexandria, v. 51, p. 370-376, 2016.
- BARICKMAN, T. C.; KOPSELL, D. A.; SAMS, C. E. Foliar applications of abscisic acid decrease the incidence of blossom-end rot in tomato fruit. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 179, p. 356-362, 2014.
- BASTÍAS, A. et al. Modulation of organic acids and sugar content in tomato fruits by an abscisic acid-regulated transcription factor. **Physiologia Plantarum**, Copenhagen, v. 141, p. 215-226, 2011.
- BITTER, T.; MUIR, H. M. A modified uronic acid carbazole reaction. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 4, p. 330-334, 1962.
- BURAN, T. J. et al. Effects of exogenous abscisic acid on fruit quality, antioxidant capacities, and phytochemical contents of southern high bush blueberries. **Food Chemistry**, London, v. 132, p. 1375–1381, 2012.
- CUARTERO, J.; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, R. Tomato and salinity. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 78, p. 83-125, 1998.
- FREITAS, S. T. et al. Calcium partitioning and allocation and blossom-end rot development in tomato plants in response to whole-plant and fruit-specific abscisic acid treatments. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, p. 235-247, 2014.
- GARCIA, E.; BARRETT, D. M. Evaluation of processing tomatoes from two consecutive growing seasons: quality attributes, peelability and yield. **Journal of Food Processing and Preservation**, Westport, v. 30, p. 20-36, 2006.
- GOMES, L. A.; SILVA, E. C.; FAQUIN, V. Recomendações de Adubação para cultivos em ambiente protegido. In: RIBEIRO, A. C. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999.
- GU, S.; JACOBS, S.; DU, G. Efficacy, rate and timing of applications of abscisic acid to enhance fruit anthocyanin contents in ‘Cabernet Sauvignon’ grapes. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, London, v. 86, p. 505-510, 2011.
- HO, L. C. The mechanism of assimilate partitioning and carbohydrate compartmentation in fruit in relation to the quality and yield of tomato. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 47, p. 1239-1243, 1996.
- HO, L. C.; WHITE, P. J. A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. **Annals of Botany**, London, v. 95, p. 571–581, 2005.

- KONDO, S.; INOUE, K. Abscisic acid (ABA) and 1- aminocyclopropane-l-carboxylic acid (ACC) content during growth of 'Satohnishiki' cherry fruit, and the effect of ABA and ethephon application on fruit quality. **Journal of Horticultural Science**, London, v. 72, p. 221-227, 1997.
- KOYAMA, R. et al. Exogenous abscisic acid increases the anthocyanin concentration of berry and juice from 'Isabel' grapes (*Vitis labrusca* L.). **HortScience**, Alexandria, v. 49, p. 460-464, 2014.
- LENG, P.; YUAN, B.; GUO, Y. The role of abscisic acid in fruit ripening and responses to abiotic stress. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, p. 4577-4588, 2014.
- LIU, H. et al. Effect of calcium treatment on nanostructure of chelate-soluble pectin and physicochemical and textural properties of apricot fruits. **Food Research International**, Barking, v. 42, p. 1131-1140, 2009.
- MAJIDI, H. et al. Tomato quality in controlled atmosphere storage, modified atmosphere packaging and cold storage. **Journal of Food Science and Technology**, Mysore, v. 51, p. 2155-2161, 2014.
- MCCREADY, R. M.; MCCOMB, E. A. Extraction and determination of total pectic materials in fruit. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 24, p. 1586-1588, 1952.
- MENCARELLI, F.; SALTVEIT, M. E. Ripening of mature-green tomato fruit slices. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 113, p. 742-745, 1988.
- RIPOLL, J. et al. Water shortage and quality of fleshy fruits—making the most of the unavoidable. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, p. 4097-4117, 2014.
- SUN, L. et al. Reciprocity between abscisic acid and ethylene at the onset of berry ripening and after harvest. **BMC Plant Biology**, London, v. 10, p. 1, 2010.
- SUN, L. et al. Suppression of 9-cis-epoxycarotenoid dioxygenase, which encodes a key enzyme in abscisic acid biosynthesis, alters fruit texture in transgenic tomato. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 158, p. 283-298, 2012.
- VICENTE, A. R. et al. The linkage between cell wall metabolism and fruit softening: looking to the future. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 87, p. 1435-1448, 2007.
- YAMAKI, S.; ASAKURA, T. Stimulation of the uptake of sorbitol into vacuoles from apple fruit flesh by abscisic acid and into protoplasts by indoleacetic acid. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 32, p. 315-318, 1991.
- ZAHARAH, S. S. et al. Mode of action of abscisic acid in triggering ethylene biosynthesis and softening during ripening in mango fruit. **Postharvest Biology and Technology**, Amsterdam, v. 75, p. 37-44, 2013.
- ZHANG, C.; WHITING, M. Plant growth regulators improve sweet cherry fruit quality without reducing endocarp growth. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 150, p. 73-79, 2013.
- ZHANG, M.; YUAN, B.; LENG, P. The role of ABA in triggering ethylene biosynthesis and ripening of tomato fruit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 60, p. 1579-1588, 2009.

### **CAPÍTULO 3 - ABSCISIC ACID INCREASES CALCIUM CONTENT AND INHIBITS BLOSSOM-END ROT DEVELOPMENT IN WATER STRESSED TOMATO FRUIT**

#### **ABSTRACT**

Water stress in tomato plants (*Solanum lycopersicum*) is the primary cause of the incidence of blossom end rot (BER). It is generally accepted that BER occurs due to a lack of Ca in distal fruit tissue during early stages of growth and development. During these stages, fruit growth takes place mainly by cell expansion. It has been suggested that BER may occur due to limited fruit Ca uptake by the roots, deficient Ca translocation in vascular vessels, and inadequate Ca allocation in fruits during a period of high demand. This leads to a dilution of Ca in the fast expanding fruit tissue. Recent studies have demonstrated that spraying whole tomato plants with abscisic acid (ABA) improves Ca partitioning into the distal region of the fruit and decreases the incidence of BER. The objectives of this study were to analyze the role of ABA in increasing Ca uptake in fruit tissue as a possible mechanism of blossom-end rot incidence inhibition in water stressed tomato plants. Tomato cultivar “Santa Clara” was field grown and treated with ABA. The treatments consisted of four irrigation levels (25, 50, 75 and 100%) of crop water requirements presented as the water to fulfil the crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) restoration and 2 levels of ABA 0.0 and 500 mg L<sup>-1</sup>. The ABA was sprayed weekly from the beginning of anthesis until harvest. Fruits were harvested at 15 and 30 days after anthesis for the determination of Ca content and percentage of BER. Foliar application of ABA increased Ca partition to the distal region of fruits 30 days after the beginning of flowering. ABA reduced the incidence of BER by 86% when compared with non-ABA treated plants. We concluded that the foliar application of ABA can significantly reduce the incidence of BER.

**Keywords:** Calcium. Plant hormone. Water stress. Blossom end-rot.

## RESUMO

O estresse hídrico no tomate (*Solanum lycopersicum*) pode causar o aparecimento de podridão apical (PA). Assume-se que a PA é resultado da deficiente absorção de Ca no solo, mesmo que este esteja, em quantidades suficientes, para as necessidades das plantas. A PA ocorre, quando uma deficiente distribuição de Ca à região distal do fruto, que se encontra em rápido crescimento no estágio inicial da divisão celular. Estudos recentes demonstraram que a aplicação de ácido abscísico (ABA) nas plantas de tomate melhora a alocação do cálcio, na região distal dos frutos e reduz a incidência de PA. O estudo tem como objetivo analisar o efeito da aplicação foliar de ABA na redução do PA no tomate sob o regime de quatro níveis de irrigação no campo. Tomate da cultivar Santa Clara foi produzido em campo. Os tratamentos consistiram de quatro níveis de rega (25, 50, 75 e 100%) das necessidades de água, para suprir a evapotranspiração da cultura (ETc) e 2 níveis de ABA 0.0 e 500 mg L<sup>-1</sup>. O ABA foi aplicado, semanalmente, via pulverizações foliar desde o início da floração até a colheita. Os frutos foram colhidos, aos 15 e 30 dias depois da antese e avaliados, para a concentração de Ca e porcentagem de PA. A aplicação foliar de ABA aumentou a partição de Ca, para a região distal de frutos, aos 30 dias, depois do início da floração. O ABA reduziu a incidência de PA em 86%, quando comparada às plantas sem ABA. Conclui-se que a aplicação foliar de ABA pode reduzir, significativamente, a incidência de PA.

**Palavras-chave:** Cálcio. Hormônio vegetal. Stress hídrico. Podridão apical.



## 1 INTRODUCTION

Calcium (Ca) is a plant nutrient required as a structural component in the cell wall and membranes, counter ion in storage organelles, and signalling molecule in the cytosol (MARSCHNER, 1995; WHITE, 2000, 2001). Conditions that restrict Ca uptake, such as high salinity, excess or lack of moisture, root diseases, high temperature and low level of Ca in the soil may cause the Ca deficiency symptoms in plants (SAURE, 2005), these symptoms may occur even at ideal levels of Ca in the soil for the normal plant growth and development (SILVA et al., 2006; SUZUKI; SHONO; EGAWA, 2003). In tomato plants (*Solanum lycopersicum*), such conditions can lead to the physiological disorder known as blossom end rot (BER) (BANGERTH, 1979; SUZUKI; SHONO; EGAWA, 2003), which is characterized by a water-soaked tissue that eventually becomes dark-brown due to increase membrane permeability followed by cell plasmolysis and death, respectively (SAURE, 2014).

It is generally accepted that BER occurs due to a lack of Ca in distal fruit tissue during early stages of growth and development. During these stages, fruit growth takes place mainly by cell expansion (SUZUKI; SHONO; EGAWA, 2003). It has been suggested that BER may occur due to limited fruit Ca uptake by the roots, deficient Ca translocation in vascular vessels and inadequate Ca allocation in fruits during a period of high demand. This leads to a dilution of Ca in the fast expanding fruit tissue (BANGERTH, 1979).

Water restriction is one of the main causes of deficient Ca uptake by roots (ADAMS; HO, 1992). Nevertheless, water management methods can reduce the incidence of BER. Deficit irrigation (DI) is a field technique where plants are irrigated with small amounts of water (ENGLISH; RAJA, 1996), and the plants grow with a reduction of the stomatal conductance, but without sign of water stress (COSTA; ORTUÑO; CHAVES, 2007).

Plant growth and development are coordinated and controlled by phytohormones. The Abscisic acid (ABA) is a stress hormone that regulates the plant life cycle (CUTLER et al., 2010). In situations of moderate stress, plant root tissues begin to synthesize ABA that is released into the xylem vessels and transported to the shoot where stomata and meristematic activities are regulated to minimize stress (HARTUNG; SAUTER; HOSE, 2002; JIANG; HARTUNG, 2008). Although ABA is synthesized when responding to the drought stress, studies demonstrated that the concentration of ABA in the sap from plants in a dry soil were less than the concentration of exogenous ABA necessary for stomatal closing (MUNNS; KING 1988; SCHACHTMAN; GOODGER, 2008). Recent studies have shown that ABA triggers whole-plant and fruit-specific mechanisms leading to high fruit Ca uptake and

apoplastic Ca concentration, reducing membrane permeability and BER incidence in fruit tissue (BARICKMAN; KOPSELL; SAMS, 2014; FREITAS et al., 2014; FREITAS; SHACKEL; MITCHAM, 2011).

The objectives of this study were to analyze the role of ABA in increasing Ca uptake in fruit tissue, as a possible mechanism of blossom-end rot incidence inhibition in water stressed tomato plants.

## 2 MATERIALS AND METHODS

The experiment was carried out under field conditions at the Federal University of Lavras, Brazil, (21° 14' 16" S, 45° 08' 00" W) 920 m above sea level, from February through June of 2016.

### 2.1 Experimental procedures

Tomato seeds of cultivar "Santa Clara" were sown in a 78 cell plastic tray and germinated in a protected environment (non-heated green house) At 35 days after sowing, plants were transplanted to the field. Plots were allocated in a complete randomized block design with 8 treatments and 4 replications. The treatments consisted of four water supply levels: 25, 50, 75 and 100% of crop water requirements as indicated by the water necessary to fulfil the crop evapotranspiration (ET<sub>c</sub>) restoration. Each plot consisted of 5 plants. Plants were treated weekly with a 0 mg L<sup>-1</sup> (deionised water) or 500 mg L<sup>-1</sup> of ABA (Valent BioSciences, Inc., Libertyville, IL, USA) through foliar spray application. The 100% ET<sub>c</sub> and deionised water was set as a control treatment. ABA was sprayed until the foliage was wet and dripping. A plastic bag was placed under the plants to avoid the solution to reach the soil. A drip irrigation system was used for irrigation. Irrigation treatments were applied following the evapotranspiration method based on changes in water balance (ET<sub>c</sub> = ET<sub>o</sub> x K<sub>c</sub>). ET<sub>c</sub> was calculated by means of a Class A evaporimetric pan and K<sub>c</sub> were applied according to Doorenbos and Pruitt (1977). Plants were watered equally from plant establishment to the beginning of anthesis. ABA and deionised water treatments started at anthesis to harvest.

### 2.2 Agriculture management

- **Soil Analyses**

The soil analyses were carried out at the University of Lavras Soil Science Laboratory, and indicated: The soil chemical and physical analysis showed pH in CaCl<sub>2</sub> = 5.4; K<sup>+</sup> = 70 mg dm<sup>-3</sup>; P = 2.91 mg dm<sup>-3</sup>; P-Rem = 27.41 mg.L<sup>-1</sup>; Ca<sup>+2</sup> = 2.12 cmol.dm<sup>-3</sup>; Mg<sup>+2</sup> = 0.74 cmol.dm<sup>-3</sup>; OM = 1.64 dag.kg<sup>-1</sup>; H+Al = 3.35 cmol.dm<sup>-3</sup>; SB = 3.04 cmol.dm<sup>-3</sup>; V = 47.6%; and granulometry of 46% sand, 36% clay and 18% of silt. According to the soil analyses

were applied 600 kg.ha<sup>-1</sup> of NPK formulation (4:14:8) before transplanting, 1 kg.ha<sup>-1</sup> of B, 3 kg.ha<sup>-1</sup> of Zn, and 30 kg.ha<sup>-1</sup> of S.

After transplanting each plant was fertilized with a 4,5 g of (50% of Monoammonium Phosphate, 40% KNO<sub>3</sub> and 10% urea), from the first to the fourth week; 4g of (20% of Monoammonium Phosphate, 70% KNO<sub>3</sub> and 10% urea), from the fifth to the eighth week; 4g of (85% of KNO<sub>3</sub> and 15% urea) from the ninth week forward. No Ca was added in order to stimulate BER incidence, because the Ca concentration in the soil was considered as the minimum required for normal plant growth. The fertilization program followed the soil recommendation of the Minas Gerais State (GOMES; SILVA; FAQUIM, 1999).

Fifteen days after transplant (DAT), plants were treated with deltamethrin, acephate, triflururon and thiamethoxam for pest management. The treatment followed the necessary recommendation. At 45, 60 and 75 DAT plants were treated with azoxystrobin and iprodione for disease management. During the period of experiment, from anthesis to the harvest, the total precipitation was 22.2 mm, the average ETC was 5 mm day, and the temperature min average was 18,8 C and Max 30.2 C.

- **Ca concentration**

To determine the concentration of Ca, 5 health fruits and without any visible symptom per plot were harvested at 15 and at 30 days after anthesis (DAA). Fruit discs of approximately 1 cm diameter and 1 cm thickness were manually cut from the blossom end. Fruits were then dried in a forced dry oven at 60° C for 72 h. Fully expanded leaves at mid plant height were collected at 15 days after anthesis (DAA) and dried in a forced dry oven for 72 h at 60° C. Sample of dry mass of fruits and of leaves were subjected to block acid digestion. The concentration of Ca was determined by atomic absorption spectrophotometry.

### **2.3 Percentage blossom-end rot incidence**

The percentage BER was determined by dividing the number of fruit with BER symptoms by the total number of fruit collected per plant and multiplying this value by 100.

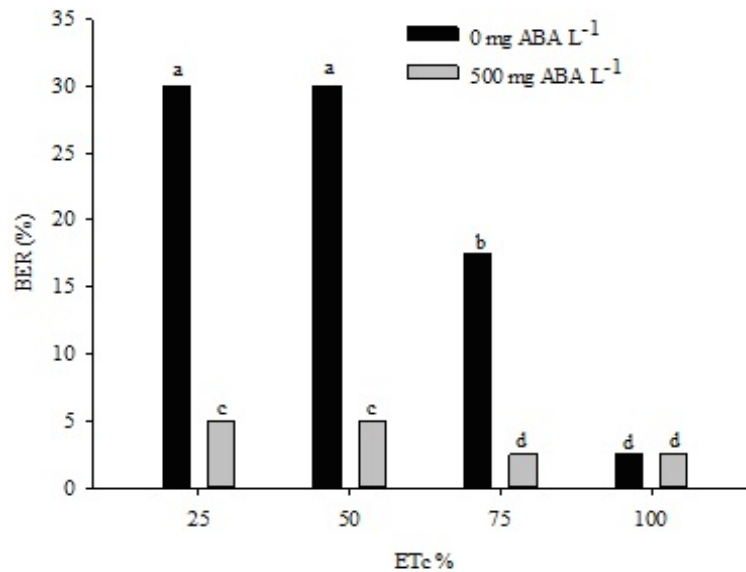
### **2.4 Statistical Analyses**

Data were analysed using analysis of variance (ANOVA) for each variable using R software. The mean treatment values were compared by Scott-Knott's test (P=0.05).

### 3 RESULTS

The results demonstrated that ABA foliar spray treatment reduced significantly the incidence of BER (Fig.1). The BER occurrence ranged from 2.5% to 30% among the treatments and deficit irrigation treatments reached the highest BER incidence when compared with ABA treatments.

**Figure 1 - Incidence of BER at 30 DAA tomato fruits grown in field conditions under four different levels of irrigation and sprayed weekly with ABA or water.**



Means with the same letter between treatments are not significantly different according to Scott-Knott's test ( $P=0.05$ ).

The application of 500 mg L<sup>-1</sup> ABA foliar spray treatment and 100% ETc restoration reached a 2.5% of BER incidence, similar to what was observed in the control. These results indicate that there are no differences in BER incidence between ABA and deionised water treatment when plants are fully irrigated. The effects of ABA treatment were visible when plants were under deficit irrigation. When plants were treated with 75% ETc restoration and 500 mg L<sup>-1</sup> ABA foliar spray, the incidence of BER reached 3%, whereas in plants with deionised water, BER was 18% of occurrence. Plants treated with 50 and 25% ETc restoration and 500 mg L<sup>-1</sup> ABA foliar spray had 5% of BER incidence, in contrast with 30% BER in non ABA treatment.

ABA treatment improved Ca uptake into the fruit during growth and development, relatively to water sprayed fruit at 100% of ETc restoration 30 DAA (Table 1).

**Table 1 - Ca concentration in distal tissue at 15 and 30 DAA of tomato fruits grown in field conditions under four different levels of irrigation and sprayed weekly with ABA or water.**

Treatments	Blossom end Ca (mg.g <sup>-1</sup> )	
	15 DAA	30 DAA
0 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 100% ETc	1.16 a	0.41 b
500 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 100 %ETc	0.98 a	0.73 a
0 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 75% ETc	0.54 a	0.57 b
500 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 75%ETc	1.31 a	0.83 a
0 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 50% ETc	1.14 a	0.60 b
500 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 50% ETc	1.02 a	0.93 a
0 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 25% ETc	0.86 a	0.22 b
500 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 25% ETc	1.00 a	1.20 a

Means with the same later between treatments are not significantly different according to Scott-Knott's test (P=0.05).

Plants treated with the 500 mg L<sup>-1</sup> ABA had the highest Ca concentration in fruit tissue when compared with all deionised water treatments. Although the Ca content among ABA treatments did not differ statistical, the 25% ETc restoration had the highest Ca concentration. In contrast, plants treated with deionised water and 25% ETc restoration had the lowest Ca concentration in fruit tissues.

The results showed that the content of Ca increased when the water level decreased. The content of Ca in 500 mg L<sup>-1</sup> ABA foliar spray and 25% ETc restoration treatment was 3-fold high when compared with the control, by the contrast, 0 mg L<sup>-1</sup> ABA foliar spray and 25% ETc treatment reduced the Ca concentration by 54 %. Plants treated with ABA and 50% ETc restoration had the Ca concentration more than 2.3-fold, while the non ABA treatment in combination with 50% ETc increased Ca content by 46 %, in comparison with the control treatment. ABA foliar application combined with 75 % and 100% ETc increased the Ca content by approximately 100 and 78 % respectively, whereas 75% ETc combined with deionised water increased Ca content by 39 % and ABA with 500 mg L<sup>-1</sup> ABA foliar spray increased Ca content by 78%. The analysis of the results demonstrated that there were no statistical differences in Ca concentration at 15 DAA and for leaf Ca concentration (table 2).

**Table 2 - Ca concentration in fully expanded leaf at 15 DAA of tomato plants grown in field conditions under four different levels of irrigation and sprayed weekly with ABA or water.**

Treatment	Leaf Ca (mg.g <sup>-1</sup> )
0 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 100 ETc	30.62 a
500 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 100 ETc	37.00 a
0 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 75% ETc	32.42 a
500 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 75% ETc	33.28 a
0 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 50% ETc	29.76 a
500 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 50% ETc	38.02 a
0 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 25% ETc	30.09 a
500 mg l <sup>-1</sup> ABA spray and 25% ETc	37.32 a

Means with the same letter between treatments are not significantly different according to Scott-Knott's test (P=0.05).

## 4 DISCUSSION

The results demonstrate that treating whole plants with ABA increased Ca concentration in the distal end of the tomato. These results are in accordance with previous studies, which showed that spraying ABA on whole plants increases the Ca partition in blossom end region (BARICKMAN; KOPSELL; SAMS, 2014; FREITAS et al., 2014). Ca uptake is linked to water absorption, and its uptake increases with high transpiration rates (ADAMS; HO, 1993), and ABA promotes stomata closure decreasing the flux of water and Ca into leaf (FREITAS et al., 2014). It would be expected that the Ca content of the fruits tissue should reduce; nevertheless the Ca content of the fruits' tissues increases with reduced leaf transpiration rate (ADAMS; HO, 1993; HO; WHITE, 2005). These findings may be explained in that plants treated with ABA had lower stomatal conductance and therefore lower plant water loss, lower water movement into the leaves and increased water movement into the rapidly expanding fruit thus reaching the blossom end (FREITAS et al., 2014; FREITAS; SHACKEL; MITCHAM, 2011).

ABA interferes with Ca uptake and translocation to the shoot by reducing the root resistance to water uptake, therefore influencing the ion uptake (BANGERTH, 1979). In addition the application of ABA increased Ca concentration in arabidopsis cells (MURATA et al., 2001) and *Commelina communis* (STAXÉN et al., 1999). Ca partitioning into fruits is also affected by reduced irrigation. Sun, Feng and Liu (2013) found that DI partition into fruits tissue. The Ca increases resulting by the application of ABA observed in our trails, support this explanation.

Our results indicate that no significant differences were demonstrated in Ca accumulation in leaves, and these findings corroborate previous results: Sánchez-Rodríguez et al. (2010) conclude that there is no significant increase in the Ca concentration in leaves in water stressed plants when compared to full irrigated plants, although its uptake decreased under water stressed plants.

Previous reports demonstrated that a weekly ABA foliar spray decreases BER incidence (BARICKMAN; KOPSELL; SAMS, 2014; FREITAS et al., 2014). Our results indicate that ABA reduced BER occurrence by increasing the Ca partitioning into distal fruit tissue. Although the Ca concentration in fruit cannot be considered as a primary or independent cause of BER because Ca content in fruits with BER symptoms can be equal or higher than in healthy fruits (NONAMI et al., 1995; SAURE, 2001). Normally, plants with a high rate of BER have lowest Ca concentration in distal end of the fruit (PAIVA; SAMPAIO;



MARTINEZ, 1998). The results of this study demonstrated that a 500 mg L<sup>-1</sup> ABA foliar spray increased Ca partitioning into distal end when comparing with non-ABA treatment. Plants treated with ABA had higher Ca content in distal end fruit tissue than plants in fruits tissue of control plants, similarly as found by Freitas, Shackel e Mitcham (2011). Furthermore when plants are under mild stress a momentary ABA synthesis is stimulated, which reduces gibberellins and enhances Ca importation therefore diminishing the rate of BER incidence (SAURE, 2001).

The rate of BER occurrence was high in plants under DI and non-ABA treatments. These findings are in contrast with Sperry, Davis and Sanders (1996) who found that soil moisture does not have an effect on BER incidence, but are in concordance with Morales (2012) and Sun, Feng e Liu (2013) who found that DI affects the BER occurrence. In addition Morales (2012), conclude that plants under water stress, BER incidence reached about 90% in susceptible cultivars.

## **5 CONCLUSION**

The study concludes that the application of ABA improves Ca uptake and its partitioning into tomato tissue in plants under different water levels. We also conclude that the ABA reduces the incidence of BER rate in tomato plants under water stress.

## REFERENCES

- ADAMS, P.; HO, L. Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 154, n. 1, p. 127-132, 1993.
- BANGERTH, F. Calcium-related physiological disorders of plants. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 17, n. 1, p. 97-122, 1979.
- BARICKMAN, T.; KOPSELL, D.; SAMS, C. Foliar Applications of Abscisic Acid Decrease the Incidence Blossom-end Rot in Tomato Fruit, **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 179, p. 356–362, 2014.
- COSTA, J.; ORTUÑO, M.; CHAVES, M. Deficit irrigation as a strategy to save water: physiology and potential application to horticulture. **Journal of Integrative Plant Biology**, Chichester, v. 49, n. 10, p. 1421-1434, 2007.
- CUTLER, S. et al. Abscisic acid: emergence of a core signaling network, **Annual Reviews Plant Biology**, Palo Alto, v. 61, n. 1, p. 651-679, 2010.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1977. 179 p. (Paper, 24).
- ENGLISH, M.; RAJA, S. Perspectives on deficit irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 32, n. 1, p. 1-14, 1996.
- FREITAS, S. et al. Calcium partitioning and allocation and blossom-end rot development in tomato plants in response to whole-plant and fruit-specific abscisic acid treatments, **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 65, n. 1, p. 235–247, Jan. 2014.
- FREITAS, S.; SHACKEL, K.; MITCHAM, E. Abscisic acid triggers whole-plant and fruit-specific mechanisms to increase fruit calcium uptake and prevent blossom end rot development in tomato fruit. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 62, n.8, p. 2645–2656, Jan. 2011.
- GOMES, L. A.; SILVA, E. C.; FAQUIM, V. Recomendações de Adubação para cultivos em ambiente protegido. In: RIBEIRO, A. C. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: Comissão de fertilidade do solo do estado de Minas Gerais, 1999.
- HARTUNG, W.; SAUTER, A.; HOSE, E. Abscisic acid in the xylem: where does it come from, where does it go to? **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 366, p. 27-32, 2002.
- HO, L. C.; WHITE, P. J. A cellular hypothesis for the induction of blossom-end rot in tomato fruit. **Annals of Botany**, London, v. 95, n. 4, p. 571-581, 2005.
- JIANG, F.; HARTUNG, W. Long-distance signalling of abscisic acid (ABA): the factors regulating the intensity of the ABA signal. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 59, n. 1, p. 37-43, 2008.

- MARSCHNER, P. **Marschner's mineral nutrition of higher plants**. San Diego: Academic, 1995.
- MORALES, R. G. F. **Resistência ao déficit hídrico em famílias de tomateiro derivados de *Solanum pennellii***. 2012. 93 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.
- MUNNS, R.; KING, R. Abscisic acid is not the only stomatal inhibitor in the transpiration stream of wheat plants. **Plant Physiology**, Bethesda, v. 88, n. 3, p. 703-708, 1988.
- MURATA, Y. et al. Abscisic acid activation of plasma membrane Ca<sup>2+</sup> channels in guard cells requires cytosolic NAD (P) H and is differentially disrupted upstream and downstream of reactive oxygen species production in *abi1-1* and *abi2-1* protein phosphatase 2C mutants. **The Plant Cell**, Rockville, v. 13, n. 11, p. 2513-2523, 2001.
- NONAMI, H. et al. Blossom-end rot of tomato plants may not be directly caused by calcium deficiency. **Acta Horticulturae**, Luven, v. 395, n. 1, p. 107–114, 1995.
- PAIVA, E.; SAMPAIO, R.; MARTINEZ, H. Composition and quality of tomato fruit cultivated in nutrient solutions containing different calcium concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 12, p. 2653-2661, 1998.
- SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E. et al. Study of the ionome and uptake fluxes in cherry tomato plants under moderate water stress conditions. **Plant and Soil**, The Hague, v. 335, n. 1/2, p. 339-347, 2010.
- SAURE, M. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a calcium- or a stress-related disorder? **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 90, n. 3, p. 193-208, Nov. 2001.
- SAURE, M. Calcium translocation to fleshy fruit: its mechanism and endogenous control. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 105, n. 1, p. 65-89, May 2005.
- SAURE, M. Why calcium deficiency is not the cause of blossom-end rot in tomato and pepper fruit a reappraisal **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 174, n. 1, p. 65-89, July 2014.
- SCHACHTMAN, D.; GOODGER, J. Chemical root to shoot signaling under drought. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 13, n. 6, p. 281-287, 2008.
- SILVA, J. B. et al. **Cultivo de tomate para Industrialização, composição nutricional**. 2006. Disponível em: <[https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial\\_2ed/composicao.htm](https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Tomate/TomateIndustrial_2ed/composicao.htm)>. Acesso em: 14 dez. 2016.
- SPERRY, W.; DAVIS, J.; SANDERS, D. Soil moisture and cultivar influence cracking, Blossom end-rot, Zippers and yield of staked fresh market tomatoes. **HortTechnology**, Alexandria, v. 6, n. 1, p. 21-24, Jan. 1996

STAXÉN, I. et al. Abscisic acid induces oscillations in guard-cell cytosolic free calcium that involve phosphoinositide-specific phospholipase C. **Plant Biology**, Washington, v. 96, n. 4, p. 1779–1784, Feb. 1999.

SUN, Y.; FENG, H.; LIU, F. Comparative effect of partial root-zone drying and deficit irrigation on incidence of blossom-end rot in tomato under varied calcium rates, **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 64, n. 7, p. 2107–2116, Mar. 2013.

SUZUKI, K.; SHONO, M.; EGAWA, Y. Localization of calcium in the pericarp cells of tomato fruits during the development of blossom-end rot. **Protoplasma**, Gewerbestrasse, v. 222, n. 3, p. 149-156, Dec. 2003.

WHITE, P. The pathways of calcium movement to the xylem. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 52, n. 358, p. 891-899, 2001.

WHITE, P. J. Calcium channels in higher plants. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes**, Amsterdam, v. 1465, n. 1, p. 171-189, 2000.