



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



ANDREW KIM LOPES FERRAZ

INIBIDORES DA BIOSÍNTESE DE GIBERELINA EM TOMATEIRO

Botucatu

2018

ANDREW KIM LOPES FERRAZ

INIBIDORES DA BIOSÍNTESE DE GIBERELINA EM TOMATEIRO

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – *Câmpus* de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Horticultura).

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Elizabeth Orika Ono

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

F381i Ferraz, Andrew Kim Lopes, 1993-
Inibidores da biossíntese de giberelina em tomateiro /
Andrew Kim Lopes Ferraz. - Botucatu: [s.n.], 2018
66 p.: grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2018
Orientador: Elizabeth Orika Ono
Inclui bibliografia

1. Tomate - Cultivo. 2. Giberelina. 3. Hormônios vegetais. 4. Fisiologia vegetal. I. Ono, Elizabeth Orika. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: INIBIDORES DA BIOSÍNTESE DE GIBERELINA EM TOMATEIRO

AUTOR: ANDREW KIM LOPES FERRAZ

ORIENTADORA: ELIZABETH ORIKA ONO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (HORTICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Profa. Dra. ELIZABETH ORIKA ONO
Departamento de Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu/ UNESP


Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES
Dep de Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu - IBB Unesp


Dra. ANA CLAUDIA MACEDO
Fisiologia Vegetal / Stoller - Campinas

Botucatu, 22 de fevereiro de 2018.

Dedico este trabalho aos meus pais José Mário e Deise e a meus irmãos Breno e Hillary, onde apesar das distâncias, nos mantemos sempre unidos e amados uns pelos outros.

AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus pais José Mário e Deise por todo amor e apoio incondicional em todos os momentos.

Aos meus irmãos Breno e Hillary, pelo amor, união e parceria de sempre.

À Patrícia por todo amor, paciência e suporte que sempre ofereceu em todos os momentos alegres e/ou difíceis.

À minha professora orientadora Dr^a Elizabeth Orika Ono, pela orientação, ensinamentos, ajuda, competência e prontidão de sempre.

Ao professor Dr. João Domingos Rodrigues pelos conselhos e sabedoria, sempre disponível a ajudar no que for possível.

À Dr^a Rubia Brito Camargo por toda disponibilidade, auxílio e ensinamentos no laboratório e fora dele.

À Dr^a Ana Claudia Macedo por ensinar a trabalhar com o IRGA e por toda prontidão e suporte que sempre ofereceu.

Aos companheiros Janaína, Fabrício Palla, Fabrício Custódio, Príncilla, Zildélia, Geane, Thais, bem como todos os outros amigos de Botucatu que, direta ou indiretamente, contribuíram para este trabalho.

À empresa Sakata Seed Sudamérica Ltda pela parceria e doação das mudas.

À Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista “Julio Mesquita Filho” (FCA/UNESP - Botucatu) pela contribuição à minha formação profissional.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos concedida.

RESUMO

A utilização de reguladores vegetais é uma realidade presente nas mais diversas áreas de cultivo, inclusive na olericultura. Os inibidores da biossíntese do hormônio vegetal giberelina compõe a classe de retardantes de crescimento mais utilizada na agricultura, onde os diversificados produtos disponíveis são atuantes em diversas fases da biossíntese desse hormônio vegetal. Tendo em vista a importância econômica do tomateiro no país, bem como a necessidade de maiores estudos da ação desses produtos em culturas hortícolas, o presente trabalho objetivou averiguar a influência dos inibidores da síntese de giberelina, cloreto de chlormequat (CCC) e prohexadione-Ca (ProCa), na cultura do tomateiro, avaliando a possível atuação no crescimento vegetativo e interferência no desenvolvimento reprodutivo. Foram conduzidos dois experimentos em ambiente protegido na área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção de São Manuel, localizada no município de São Manuel (SP), pertencente à Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista-UNESP, Campus de Botucatu-SP. Os delineamentos experimentais nos experimentos foram em blocos casualizados. Para o experimento I, os tratamentos consistiram em crescentes concentrações de Cloreto de Chlormequat (CCC): T1 – testemunha (água); T2– CCC a 500 mg i.a. L⁻¹; T3– CCC a 1000 mg i.a. L⁻¹; T4– CCC a 1500 mg i.a. L⁻¹; T5– CCC a 2000 mg i.a. L⁻¹. Para o experimento II, os tratamentos foram compostos de crescentes concentrações de Prohexadione-Ca (ProCa): T1 – testemunha (água); T2– ProCa a 500 mg i.a. L⁻¹; T3– ProCa a 1000 mg i.a. L⁻¹; T4– ProCa a 1500 mg i.a. L⁻¹; T5– ProCa a 2000 mg i.a. L⁻¹. Os tratamentos foram aplicados via foliar na cultura a cada 10 dias. O efeito de ambos os produtos foram avaliados por análises de crescimento, produtividade e produção, quantificação da atividade de enzimas antioxidantes e atributos bioquímicos de pós-colheita. Através dos resultados conclui-se que, para o experimento I, as concentrações de CCC empregadas não apresentaram efeitos positivos ou negativos sobre a cultura. Para o experimento II, as concentrações de ProCa empregadas apresentaram efeitos negativos, reduzindo os atributos de colheita e produtividade, reduzindo também, consideravelmente, o crescimento, além de influenciar no sistema antioxidativo das plantas.

Palavras-chave: regulador vegetal, *Solanum lycopersicum* L., cloreto de chlormequat, prohexadione-Ca, atividade fisiológica.

ABSTRACT

The use of plant regulators is substantially present in the most diverse areas of cultivation, including in the olericulture. Inhibitors of gibberellin biosynthesis are the most used class of growth retardants in agriculture, where the diverse products available are active in several phases of the biosynthesis of this plant hormone. In order to study the economic importance of tomato plant in the country, as well as the need for further studies on the action of these products on horticultural crops, the objective of this study was to investigate the influence of the inhibitors of gibberellin biosynthesis, chlormequat chloride (CCC) and prohexadione-Ca (Pro-Ca), applied in tomato culture, evaluating its possible performance on the vegetative growth and interference in the reproductive development. Two experiments were performed in a protected environment in the experimental area of the São Manuel's Farm of Education, Research and Production, located in the city of São Manuel (SP), which belongs to the Faculty of Agronomic Sciences of São Paulo State University - UNESP, Botucatu Campus - SP. The randomized blocks designs were used in the experiments. For the experiment I, the treatments were composed of increasing concentrations of Chlormequat Chloride (CCC): T1 - control (water); T2 - CCC at 500 mg i.a. L⁻¹; T3 - CCC at 1000 mg i.a. L⁻¹; T4 - CCC at 1500 mg i.a. L⁻¹; T5 - CCC at 2000 mg i.a. L⁻¹. For Experiment II, the treatments were composed of increasing concentrations of Prohexadione-Ca (ProCa): T1 - control (water); T2 - ProCa at 500 mg i.a. L⁻¹; T3 - ProCa at 1000 mg i.a. L⁻¹; T4 - ProCa at 1500 mg i.a. L⁻¹; T5 - ProCa at 2000 mg i.a. L⁻¹. The treatments were leaf application in the culture every 10 days. The effects of both products were evaluated by growth, productivity and production analyzes, quantification of the antioxidant enzymes activity and post-harvest biochemical attributes. It is concluded by the results that, for experiment I, the application of CCC concentrations did not present positive or negative effects on the culture. For the experiment II, the applied concentrations of ProCa presented negative effects, reducing the harvesting and productivity attributes, also considerably reducing the growth, besides influencing the antioxidative system of the plants.

Key words: Plant regulator, *Solanum lycopersicum* L., Chlormequat chloride, prohexadione-Ca, Physiological activity.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Temperaturas máximas e mínimas observadas no interior da estufa ao decorrer dos experimentos37
- Figura 2. Altura de plantas (cm) de tomateiro híbrido Santy® em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de ProCa.38
- Figura 3. Taxa de crescimento absoluto (TCA) (cm dia^{-1}) de plantas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC.40
- Figura 4. Taxa de crescimento absoluto (TCA) (cm dia^{-1}) de plantas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de ProCa.....41
- Figura 5. Massa seca de brotos (g) (MSB) de tomateiro híbrido Santy® em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de prohexadione-Ca (ProCa).
.....42
- Figura 6. A – Valores médios de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) por grama de massa fresca ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ g massa fresca}^{-1}$) de folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 21 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC; B – Valores médios da peroxidação de lipídios (MDA $\times 10^3$, $\text{nmol g massa fresca}^{-1}$) em folhas de tomateiro aos 63 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC.46
- Figura 7. A - Atividade da enzima superóxido dismutase ($\text{SOD} \times 10^{-3}$, U mg^{-1} de proteína) de folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 42 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de ProCa; B – atividade da peroxidase (POD, $\mu\text{mol de purpurogalina min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína) de folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 42 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de ProCa.....48
- Figura 8. A – Valores médios de peróxido de hidrogênio por grama de massa fresca ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ g massa fresca}^{-1}$) de folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 63 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de ProCa;

B – Valores médios de peroxidação de lipídios (MDA $\times 10^3$, nmol g massa fresca⁻¹) em folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 63 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de ProCa. 49

Figura 9. A – Valores médios de peróxido de hidrogênio por grama de massa fresca ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2$ g massa fresca⁻¹) de folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 84 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de ProCa; B – Valores médios de peroxidação de lipídios (MDA $\times 10^3$, nmol g massa fresca⁻¹) em folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 84 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de ProCa. 50

Figura 10. A - Número de frutos comerciais (NFC) e B - Número de frutos não-comerciais (NFNC) de tomateiro híbrido Santy® em função de diferentes concentrações de prohexadione-Ca (ProCa) aplicadas via foliar. 54

Figura 11. A - Massa de frutos comerciais (MFC) e B - Massa de frutos não-comerciais (MFNC) de tomateiro híbrido Santy® em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de prohexadione-Ca (ProCa). 56

Figura 12. Produtividade média de frutos (kg/ha) de tomateiro híbrido Santy® em função de diferentes concentrações de prohexadione-Ca ProCa aplicadas via foliar. 57

Figura 13. Teor de pH de frutos de tomateiro híbrido Santy® em função da aplicação de diferentes concentrações de CCC (A) e ProCa (B). 59

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Resultado da análise de solo. UNESP/FCA. Botucatu,201729
- Tabela 2. Média de número de folhas (NF) e altura de plantas (AP) de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC e NF de tomateiros híbridos Santy® submetidos a diferentes concentrações de ProCa.38
- Tabela 3. Média de brotos (NB) e massa seca de brotos (g) (MSB) de plantas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC e NB de plantas submetidas a diferentes concentrações de ProCa.....42
- Tabela 4. Taxa de assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ na folha (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência do uso da água (A/E , $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) e eficiência de carboxilação (A/C_i) em plantas de tomateiro híbrido Santy submetidas a diferentes concentrações de CCC.43
- Tabela 5. Eficiência quântica potencial do FSII (F_v/F_m); eficiência quântica das antenas (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímico (qP), coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) de plantas de tomateiro híbrido Santy submetidas a diferentes concentrações de CCC.....44
- Tabela 6. Taxa de assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$); condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ na folha (C_i , $\mu\text{mol mol}^{-1}$), taxa de transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), eficiência do uso da água (A/E , $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) e eficiência de carboxilação (A/C_i) em plantas de tomateiro híbrido Santy submetidas a diferentes concentrações de ProCa.45
- Tabela 7. Eficiência quântica potencial do FSII (F_v/F_m); eficiência quântica das antenas (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímico (qP), coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ), taxa aparente de transporte de

elétrons (<i>ETR</i>) de plantas de tomateiro híbrido Santy submetidas a diferentes concentrações de ProCa.....	45
Tabela 8. Média de valores de peróxido de hidrogênio (PH) ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2$ g massa fresca ⁻¹), peroxidação de lipídios (LIP) (MDA $\times 10^3$, nmol g massa fresca ⁻¹), superóxido dismutase (SOD $\times 10^{-3}$, U mg ⁻¹ de proteína), catalase (CAT, $\mu\text{Kat } \mu\text{g}^{-1}$ de proteína) e atividade da peroxidase (POD, $\mu\text{mol de purpurogalina min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína) em folhas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC e coletadas as 21, 42, 63, 84, 112 DAT.....	51
Tabela 9. Média de valores de peróxido de hidrogênio (PH) ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2$ g massa fresca ⁻¹), peroxidação de lipídios (LIP) (MDA $\times 10^3$, nmol g massa fresca ⁻¹), superóxido dismutase (SOD $\times 10^{-3}$, U mg ⁻¹ de proteína), catalase (CAT, $\mu\text{Kat } \mu\text{g}^{-1}$ de proteína) e atividade da peroxidase (POD, $\mu\text{mol de purpurogalina min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína) em folhas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de ProCa e coletadas as 21, 42, 63, 84, 112 DAT.....	52
Tabela 10. Médias do número de frutos comerciais (NFC), número de frutos não-comerciais (NFNC), massa de frutos comerciais (MFC) e massa de frutos não-comerciais (MFNC) e produtividade de plantas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação de diferentes concentrações de CCC.....	53
Tabela 11. Porcentagem de frutos do tomateiro híbrido Santy® submetidos a diferentes concentrações de CCC, segundo as Normas de Classificação do Tomate (CQH/CEAGESP, 2003).....	58
Tabela 12. Porcentagem de frutos do tomateiro híbrido Santy® submetidos a diferentes concentrações de prohexadione-Ca (ProCa), segundo as Normas de Classificação do Tomate (CQH/CEAGESP, 2003).....	58
Tabela 13. Média do teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e relação SS/AT de frutos de plantas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC e ProCa.....	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	Caracterização e importância econômica do tomateiro	20
2.2	Hormônios e reguladores vegetais	21
2.3	Trocas gasosas e Florescência da clorofila <i>a</i>	22
2.4	Biossíntese da giberelina e inibidores da sua síntese	23
2.4.1	Cloreto de chlormequat	24
2.4.2	Triazóis.....	25
2.4.3	Prohexadione-Ca	25
2.5	Estresse oxidativo	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Localização e implantação do experimento.....	29
3.2	Delineamentos experimentais e tratamentos	30
3.3	Variáveis analisadas.....	31
3.3.1	Análises Biométricas	31
3.3.2	Trocas gasosas e fluorescência da clorofila <i>a</i>	31
3.3.3	Análises enzimáticas	32
3.3.4	Análises físico químicas de fruto e de produção	35
3.4	Análise estatística dos dados	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1	Crescimento vegetativo	37

4.2	Avaliação de brotações laterais	42
4.3	Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a	43
4.4	Análises enzimáticas	46
4.5	Produção de frutos.....	53
4.6	Atributos físico-químicos.....	58
5	CONCLUSÃO	60
	REFERÊNCIAS	61

1 INTRODUÇÃO

A importância da cultura do tomateiro é mundialmente reconhecida, tanto nos aspectos econômicos e sociais, destacando-se pela sua versatilidade de usos, seja para fins industriais ou direcionados para o consumo *in natura*. Há tempos, o Brasil figura-se como um dos maiores produtores mundiais de tomate e em 2013 esteve como o oitavo maior produtor mundial (AGRIANUAL, 2017).

O tomateiro apresenta hábitos de crescimento indeterminado e determinado, de modo que o crescimento vegetativo visa desenvolver o aparato fotossintético necessário para atender a demanda energética da planta para a produção de frutos.

O manejo adequado nas plantas objetiva limitar determinados pontos de crescimento, a fim de evitar o crescimento vegetativo excessivo e direcionar os fotoassimilados para a produção de frutos. Assim, é necessária a busca por técnicas para aprimorar esse manejo com o objetivo de melhor balancear o crescimento vegetativo e reprodutivo para obter melhores resultados na colheita de frutos.

Os uso de reguladores vegetais pode ser uma ferramenta que auxilia no controle do crescimento, pois influenciam fisiologicamente as plantas de forma semelhante aos hormônios vegetais, no crescimento, florescimento e também no desenvolvimento e maturação de frutos (FAGAN et al., 2015).

Grande parte do grupo de produtos classificados por retardantes de crescimento atua na inibição da síntese de giberelina pelas plantas em três etapas possíveis (MOUCO et al., 2010), através do bloqueio da formação do ent-caureno, bloqueio da síntese de GA₁₂-aldeído a partir do ent-caureno e bloqueio da oxidação de GA₁₂-aldeído a outras giberelinas (GAs) (RADEMACHER, 2000).

Desse modo, o presente trabalho objetivou estudar a influência de inibidores da síntese de giberelina, cloreto de chlormequat (CCC) e prohexadione-Ca (ProCa), no desenvolvimento do tomateiro híbrido Santy®, avaliando a possível atuação no crescimento vegetativo e interferência no desenvolvimento de frutos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Caracterização e importância econômica do tomateiro

Pertencente à família Solanaceae, do gênero *Solanum*, o tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) possui origem na região Andina cuja domesticação ocorreu no México. Entretanto, a introdução da cultura no Brasil ocorreu através de imigrantes europeus no século XIX (ALVARENGA, 2004).

O tomateiro é uma eudicotiledônea perene, porém é amplamente cultivado de forma anual. Seu porte é rasteiro, mas pode ser conduzido também de forma ereta e semi-ereta de acordo com a finalidade e aptidão do material utilizado.

Possui dois hábitos de crescimento distintos, sendo eles o crescimento determinado e indeterminado. O crescimento determinado caracteriza-se por não apresentar dominância apical e tal característica surgiu através de uma mutação recessiva que determina a incapacidade de continuar formando ramos vegetativos após o florescimento. Segundo Rick (1978), esse fenômeno é controlado pelo alelo recessivo *Self-prunning* (*sp*) e apareceu espontaneamente pela primeira vez na Flórida em 1914. Desde então, tal característica vem sendo usada nos programas de melhoramento genético para cultivo de tomate destinado à indústria.

Já no crescimento indeterminado, a planta produz brotações laterais de forma alternada a ramos reprodutivos, apresentando estes últimos a cada três ramos vegetativos lançados. A dominância apical resulta no crescimento maior do caule quando comparado às ramificações laterais e esse processo continua indefinidamente até a senescência da planta. É controlada pelo alelo dominante *Self-prunning* (*SP*) (RICK, 1978).

Segundo dados do IBGE – LSPA (2017), o Brasil figurou-se como o oitavo maior produtor mundial de tomate, com cerca de 3,787 milhões de toneladas produzidas no ano de 2016, atrás da China, que ocupou o primeiro lugar com cerca de 50,552 milhões de toneladas, seguida pelos Estados Unidos, Índia, Turquia, Egito, Itália, Irã e Espanha, respectivamente. A produção de tomate no Brasil apresentou discreto acréscimo na safra de 2017 em relação a 2016 de 1,33%, saltando de cerca de 3,737 milhões de toneladas para mais de 3,787 milhões (IBGE – LSPA, 2017).

A tecnologia aplicada à agricultura contribui diretamente para a continuidade destes índices, através do desenvolvimento de novos sistemas de cultivo como a adoção da plasticultura, aperfeiçoamento de técnicas de irrigação como o uso de gotejamento e fertirrigação, avanço nos estudos de fertilidade e demanda de nutrientes das plantas, além do desenvolvimento de novos materiais genéticos, como híbridos mais produtivos, resistentes às doenças e pragas e menos susceptíveis a estresses abióticos.

O consumo de tomate *per capita* vem aumentando consideravelmente no país e, segundo Carvalho e Pagliuca (2007), houve crescimento de 36% do consumo entre 1983/85 e 2003/05, passando de 14 kg por pessoa por ano para 19 kg. Isto está relacionado, dentre outros fatores, ao crescimento e consolidação de redes de *fast food*, que utilizam essa hortaliça nas formas processada e *in natura*, além do aumento da busca por alimentos mais saudáveis e frescos.

Esse crescimento no consumo demanda também na necessidade do suprimento de frutos que atendam as exigências de mercado. Características nutricionais, físicas e físico-químicas dos frutos estão intimamente ligadas à aceitação do consumidor, seja para consumo *in natura* ou para processamento na indústria, uma vez que os teores dos componentes presentes nos frutos como sólidos solúveis e, principalmente, o aspecto visual conferem maior ou menor aceitabilidade (CHITARRA, 2005).

2.2 Hormônios e reguladores vegetais

A eficiência fotossintética, arquitetura da planta, produtividade e o desenvolvimento da planta em si são controlados a partir de seu material genético e a expressão desses genes, por sua vez ocorre de acordo com o balanço hormonal. Esse balanço hormonal pode atuar de forma promotora ou inibidora, de acordo com estímulos bióticos como ataque de pragas e incidência de doenças e abióticos, como luz, temperatura, água e nutrientes.

A partir da produção de hormônios vegetais, eles podem agir em outras células e locais ou no próprio local de produção na planta, sendo mensageiros químicos que interagem com proteínas específicas. Auxinas, citocininas, giberelinas, etileno, ácido abscísico são os principais tipos de hormônios vegetais que regulam o crescimento e desenvolvimento vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2013), além destes, os

brassinosteróides, jasmonatos, salicilatos, poliaminas, hormônios polipeptídeos e estrigolactonas são compostos que, mais recentemente, são considerados também como hormônios vegetais (FAGAN, 2015).

Reguladores vegetais são substâncias sintéticas ou naturais que quando aplicadas alteram processos metabólicos e fisiológicos, interferindo no crescimento das plantas, promovendo-o ou inibindo-o (ESPINDULA et al., 2010). A aplicação de retardantes de crescimento é uma ferramenta diversificada e passível de adaptação de acordo com a necessidade encontrada na agricultura. Segundo Rademacher (2000) morfológicamente, o efeito inibitório dos reguladores vegetais atua não somente na redução do alongamento celular, mas também na divisão celular e, desse modo, os produtos retardantes do crescimento em grande parte são antagonistas à giberelina e auxina, pois são estes os principais hormônios vegetais responsáveis pelo crescimento e alongamento de caules e brotos.

No cultivo de cereais a aplicação é amplamente realizada visando diminuir o acamamento das plantas causado por ventos ou chuvas intensas. Em algodão aplica-se para controlar o crescimento vegetativo e adaptar a planta para um cultivo anual, reduzindo seu ciclo. Em frutíferas tem-se aplicado para obter melhor proporção de crescimento vegetativo e reprodutivo, reduzindo crescimento de ramos melhorando a qualidade dos frutos (RADEMACHER, 2006), além de reduzir gastos com poda.

2.3 Trocas gasosas e Florescência da clorofila a

O termo fotossíntese significa “síntese utilizando a luz” e representa a síntese de carboidratos através da energia luminosa, água e dióxido de carbono, liberando oxigênio (TAIZ; ZEIGER, 2013). A energia luminosa é absorvida pelos pigmentos na planta, sendo as clorofilas *a* e *b* e carotenoides os mais abundantes. As clorofilas presentes nas membranas dos tilacóides permitem que ocorram as reações luminosas, onde a energia absorvida é utilizada para oxidar a água e liberar elétrons na cadeia transportadora de elétrons (CTE). Dessa forma, há a liberação de oxigênio e a formação de ATP e NADPH+H⁺, que são utilizados na síntese de carboidratos pelo ciclo de Calvin-Benson no estroma do cloroplasto (TAIZ; ZEIGER, 2013).

Quando ocorre a excitação das moléculas de clorofila pela energia luminosa, a mesma torna-se instável em um estado excitado e para retornar ao seu estado

estável, existem três rotas alternativas: transferência de energia para uma molécula vizinha pela emissão de calor; transferência de energia para o centro de reação ocorrendo reações químicas (fotoquímica) e emissão de um fóton (fluorescência). Desse modo, a compreensão da fluorescência torna-se uma ferramenta importante para o estudo dos processos de transferência de energia e atividade fotossintética (ZEMRI et. al, 2012).

A capacidade fotossintética da planta é estabelecida por diversos fatores, como genéticos, morfológicos e condições ambientais. A avaliação de trocas gasosas permite analisar a taxa de assimilação líquida de CO₂, condutância estomática, concentração interna de CO₂ e taxa de transpiração (MACEDO, 2015). A partir destes parâmetros é possível associar uma gama de princípios fisiológicos, morfológicos e bioquímicos, bem como as limitações fotossintéticas da planta.

Após a síntese de carboidratos pelo ciclo de Calvin-Benson, o gliceraldeído-3-fosfato e o piruvato, através de uma série de rearranjos, formam um isopreno. A junção de quatro isoprenos dá origem ao composto geranyl-geranyl difosfato e inicia-se assim a primeira fase da síntese de giberelina (TAIZ; ZEIGER, 2013).

2.4 Biossíntese da giberelina e inibidores da sua síntese

O crescimento e desenvolvimento das plantas são baseados na divisão e expansão celular, os quais envolvem a giberelina (RICHARDS et al., 2001). Esse hormônio vegetal também possui importância fundamental na germinação de sementes, expansão foliar, crescimento do caule, indução floral, maturação de pólen e desenvolvimento de tricomas (PIMENTA-LANGE; LANGE, 2006).

Segundo Taiz & Zeiger (2013), a biossíntese de giberelinas ocorre pela rota dos terpenos, sendo definida em três etapas, onde cada uma delas acontece em compartimentos distintos da célula. A primeira etapa ocorre nos plastídeos, onde há a formação de geranylgeranyl-difostato (GGPP) a partir de quatro isoprenos, posteriormente, há a ação das enzimas ent-copalil-difosfato sintase e ent-caureno sintase, respectivamente, ocorrendo a ciclização do GGPP a ent-caureno. A segunda etapa ocorre no retículo endoplasmático e é caracterizada pela formação de GA₁₂-aldeído, a partir de uma sequência de reações promovidas pelas enzimas ent-caureno oxidase e ent-caurenóico oxidase. Por último, na terceira etapa ocorre a formação de todas as demais giberelinas no citoplasma, a partir de GA₁₂-aldeído

através de reações oxidativas, onde a enzima GA₂₀ oxidase é responsável pela formação de outras giberelinas de 20 carbonos e a 3β-hidroxilase pela formação das giberelinas mais ativas dos vegetais GA₁ e GA₄, ambas de 19 carbonos, a partir da giberelina precursora GA₂₀.

Como maioria dos produtos utilizados nas plantas como retardantes de crescimento atuam na inibição da biossíntese de giberelinas, tal ação ocorre em três momentos diferentes da síntese desse hormônio vegetal, dependentemente do grupo e do modo de atuação destes (MOUCO et al., 2010).

O primeiro grupo de inibidores da síntese de giberelina atua no bloqueio da síntese de ent-caureno, impedindo sua formação a partir de geranilgeranil difosfato (ESPINDULA et al., 2010). Enquadra-se neste grupo os compostos quaternários de amônio, como o cloreto de chlormequat (CCC) e cloreto de mepiquat (MOUCO et al., 2010).

O segundo grupo de inibidores atua no bloqueio da formação de GA₁₂-aldeído, não permitindo a oxidação de ent-caureno pela enzima ent-caureno oxidase. Neste grupo enquadram-se os compostos cíclicos contendo nitrogênio como o uniconazole, paclobutrazol e ancimidol e outros triazóis.

Já o terceiro grupo compreende produtos que bloqueiam as reações finais do metabolismo de síntese de giberelina por competição, atuando em sítios de ligação das dioxigenases. As acilciclohexadionas como o prohexadione-Ca e etil-trinexapac são exemplos deste grupo (ESPINDULA et al., 2010).

2.4.1 Cloreto de chlormequat

Desde 1960, o cloreto de chlormequat (cloreto de 2-cloroetil trimetil-amônio) ou CCC, vem sendo amplamente estudado e utilizado, sobretudo para o controle do crescimento de cereais evitando o acamamento. Sua alta mobilidade nos vasos condutores e elevada solubilidade em água permite uma rápida translocação na planta e possibilidade de absorção em todos os tecidos nos quais são aplicados (MA; SMITH, 1992).

Rademacher (2000) sugere que a atuação do CCC consiste na mimetização do composto intermediário copalil difosfato (CPP), sucessor ao GGPP e antecessor ao ent-caureno. Desse modo, inibe a atuação da enzima CPP-sintase, responsável pela ciclização e formação do ent-caureno, impedindo a continuidade da síntese de

giberelina pelo vegetal. De maneira similar, o composto também inibe a enzima ent-caureno sintase, agregando outro fator antagônico à síntese desse hormônio vegetal.

Os primeiros trabalhos que se tem registro da utilização de cloreto de chlormequat em tomateiro iniciaram-se a partir de 1970 (LINDLEY, 1973). Estudos iniciais na Itália (LOVATO, 1970), Gana (SINNADURAI; AMUTI, 1971) e Egito (FARRAG, 1971) demonstraram que houve, respectivamente, menor ocorrência de abortamento de flores, maior incremento de produtividade e, comparado com outros inibidores da síntese de giberelina, apresentou maior número de frutos e produtividade.

2.4.2 Triazóis

Os triazóis compõe um dos grupos mais ativos de inibidores de giberelina, tendo como exemplos o uniconazole, ancimidol e paclobutrazol, este último sendo um dos inibidores de crescimento mais utilizados. A atuação destes compostos ocorre na segunda etapa da síntese de giberelina, na membrana dos plastídeos e no retículo endoplasmático. Esta etapa envolve as enzimas ent-caureno oxidase e ácido ent-caureno oxigenase, essenciais para a formação do ácido caurenóico a partir do ent-caureno (RADEMACHER, 2000).

A ação deste grupo de inibidores consiste sobre o citocromo-P450, através da inibição de enzimas monoxigenases responsáveis por catalisar os passos oxidativos necessários para formação do ácido ent-caurenóico (GRAEBE, 1992). Desse modo, impede a formação de GA₁₂-aldeído e, conseqüentemente, a formação de GAs.

2.4.3 Prohexadione-Ca

O ingrediente ativo, Prohexadione-Ca, foi originalmente patenteado pela Kumiai Chemical Industry Co, para o controle de crescimento em arroz (*Oryza sativa* L.).

O produto não possui efeito mutagênico, cancerígeno ou teratogênico, além de não afetar microorganismos do solo, aves, peixes e agentes polinizadores como abelhas. Não foi observado acúmulo do composto em tecidos de mamíferos. A absorção é via foliar e em maçãs requer um mínimo de oito horas após a aplicação para sua máxima absorção. Seu movimento no vegetal é no sentido apical, afetando

brotos e gemas. O prohexadione-Ca possui meia-vida de duas a três semanas na planta e de menos de sete dias no solo, onde a molécula se degrada, principalmente, em dióxido de carbono. Já na água, a degradação ocorre por fotólise, gerando também dióxido de carbono e outros produtos naturais. Pela baixa persistência e efeito em curto prazo, o composto pode ser usado como uma ferramenta interessante e flexível para o manejo do crescimento vegetativo (EVANS, 1999).

O produto possui estrutura molecular semelhante ao ácido 2-oxoglutárico, que por sua vez é co-substrato para a enzima 3β -hidroxilase envolvida nos estádios finais da formação de giberelinas mais ativas, assim, compete por sítios ativos específicos desse ácido, reduzindo as taxas de síntese de giberelina de alta atividade (GA_1) e acumulando o precursor inativo GA_{20} (BROWN, 1997).

Compostos que atuam inibitoriamente em outras rotas de síntese de giberelina como o paclobutrazol, podem apresentar maior persistência nas plantas e, desse modo, possuir maior capacidade de apresentar propriedades fitotóxicas às plantas hortícolas, tornando seu uso desvantajoso (OWENS; STOVER, 1999). Assim, o prohexadione-Ca apresenta-se como uma alternativa para complementar práticas de manejo e manter um melhor equilíbrio vegetativo e reprodutivo, de acordo com o material genético utilizado (COSTA et al., 2004; RAMÍREZ et al., 2008).

2.5 Estresse oxidativo

É denominado radical livre uma molécula ou átomo que possua vários ou apenas um elétron(s) desemparelhado(s) em seus orbitais (GUTTERIDGE, 2000). A maioria destes radicais livres está nas formas de espécies reativas de oxigênio (ROS), tidos como subprodutos de reações redox (KOVALCHUK, 2010) e o balanço entre sistemas de defesa antioxidantes, que incluem proteínas enzimáticas e moléculas não enzimáticas e a produção desses radicais livres ditam a funcionalidade e o estado oxidativo das células em questão. As plantas, não diferentemente dos demais seres aeróbicos, produzem radicais livres constantemente durante os processos metabólicos normais, principalmente nas mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos (BARBOSA, 2014).

A formação de ROS parte do princípio da excitação do O₂ molecular, formando o oxigênio singleto (¹O₂), ou de adição de elétrons no O₂, onde tal redução resulta no radical aniônico superóxido (O₂^{•-}), considerado normalmente como primário, pois dá origem a outros como o peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e o radical hidroxila (OH•) (BHATTACHARJEE, 2010; BARBOSA, 2014), sendo este último o mais potencialmente danoso às plantas, pois seu rápido e alto poder oxidante pode reagir com todos os tipos de moléculas biológicas (MYLONA; POLIDOROS, 2010).

A formação de oxigênio singleto no Fotossistema II ocorre a partir do instante em que a energia armazenada na clorofila não é dissipada e este acúmulo energético resulta em sua transferência para o O₂ (BHATTACHARJEE, 2010). Na fotossíntese ocorre a formação do radical aniônico superóxido na cadeia transportadora de elétrons (CTE) como forma preventiva, a fim de evitar que outras moléculas da CTE produzam sinais oxidativos que regulam a expressão gênica (FOYER et al., 2012). Além disso, a geração de O₂^{•-} também pode ser induzida em situações de estresse, onde o fechamento estomático resulta na redução de CO₂ disponível para fixação no ciclo de Calvin-Benson, acarretando na redução de O₂ e não do NADP⁺ (AHMAD et al., 2008).

Em baixas concentrações, as ROS possuem funcionalidade benéfica e são responsáveis por vários processos de sinalização e regulação fisiológica das células (FRIDOVICH, 1999). Porém, quando em altas concentrações, podem oxidar proteínas causando a degradação e desnaturação de outras enzimas, comprometendo a subsequente síntese proteica, danos nas membranas através da oxidação de lipídios e, quando em níveis muito elevados, podem causar danos irreversíveis resultando na morte celular (SORG, 2004; VALKO, 2007).

De forma evolutiva, as plantas e demais organismos aeróbicos contam com mecanismos de defesa para catalisar e eliminar as ROS, a fim de garantir o balanço adequado e evitar maiores danos causados pelo estresse oxidativo. Tais mecanismos de defesa podem ser classificados como não enzimáticos e enzimáticos.

Os compostos de defesa não enzimáticos envolvem flavonoides, carotenoides, poliaminas, tocoferóis, glutathione, além de vitaminas como C e E (VALKO, 2007). Já os mecanismos de defesa enzimáticos estão presentes em diferentes locais intra e extracelular, os quais se têm como principais enzimas envolvidas a superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT), peroxidase (POD),

glutathione peroxidase (GPX), ascorbate peroxidase (APX), glutathione reductase (GR) e glutathione S-transferase (GSTs) (SCANDALIOS, 2005; BARBOSA et al., 2014).

As SODs são metaloenzimas classificadas de acordo com o metal presente no grupo prostético, podendo ser o manganês (Mn-SOD), encontrada na matriz mitocondrial, ferro (Fe-SOD), encontrada nos cloroplastos ou cobre/zinco (Cu/Zn-SOD) encontrada no citosol (GIL; TUJETA, 2010). A ação da SOD ocorre através da dismutação de dois radicais $O_2^{\cdot-}$, gerando H_2O_2 e O_2 . Desse modo, interferem na variação do nível de H_2O_2 nesses compartimentos (BHATTACHARJEE, 2010).

As CATs são enzimas que modulam a presença de H_2O_2 através de sua conversão em H_2O e O_2 , atuando nos peroxissomos e glioxissomos. Podem ser classificadas de acordo com o local de atuação, sendo que catalases da classe um atuam nos tecidos fotossintéticos, as catalases da classe dois atuam nos tecidos vasculares e da classe três estão as que atuam mais frequentemente em plantas jovens e sementes, modulando o H_2O_2 produzido na degradação dos ácidos graxos no glioxissoma (RESENDE et al., 2003).

As PODs atuam no sistema contra as ROS através da degradação do H_2O_2 produzido durante o estresse oxidativo, bem como, o produzido pela dismutação do $O_2^{\cdot-}$ pela SOD. Sua localização é constatada, principalmente, no vacúolo e parede celular e pode estar associada com a indução de resistência, pois sua presença em excesso também pode estar relacionada à diferenciação celular e lignificação (ROS BARCELO et al., 1989).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e implantação do experimento

Os experimentos foram conduzidos de março a julho de 2017 em área experimental da Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção de São Manuel, localizada no município de São Manuel (SP), pertencente à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista-UNESP, Campus de Botucatu-SP. As coordenadas geográficas do local são 22° 44'S de latitude, 47° 34' W de longitude e 750 metros de altitude. Conforme a classificação climática de Köppen, o clima da região é mesotérmico do tipo Cwa, subtropical úmido, com verão chuvoso e inverno seco.

As plantas foram cultivadas sob ambiente protegido do tipo arco com 30 m de comprimento, 7 m de largura e altura de 3 m, coberto com filme de polietileno de baixa densidade de 150 μmol aditivado e laterais de tela de monofilamento branca, com impedimento de 14% da entrada de luz. Foi utilizado sistema de irrigação por gotejamento e fertirrigação por injeção de fertilizantes, utilizando-se tubo do tipo "Venturi" instalado antes de um filtro de disco de 125 microns. Os tratamentos fitossanitários foram realizados de acordo com a necessidade da cultura.

A adubação de base foi realizada conforme análise química do solo, cujas amostras foram retiradas de 0-20 cm de profundidade em 25/08/2016 (Tabela 1). Mediante necessidade, adicionou-se 29,5 kg de calcário dolomítico na área.

Tabela 1. Resultado da análise de solo. UNESP/FCA. Botucatu,2017

pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³	-----mmol/dm ³			-----					mg/dm ³
4,7	9	76	---	22	2,2	17	5	25	47	53	---

As mudas foram produzidas em parceria com a empresa Sakata Seed Sudamérica Ltda., na Fazenda Experimental da própria empresa em Bragança Paulista – SP. A semeadura ocorreu em 09/02/2017 em bandejas plásticas de 128 células, com dimensões de 18,5 x 19,0 x 11,0 cm de largura, comprimento e profundidade, respectivamente. Utilizou-se o substrato comercial Carolina Soil® II.

Para os experimentos foi utilizado o tomateiro híbrido SANTY® da empresa Sakata Seed Sudamérica Ltda, do segmento salada tipo indeterminado, que possui alto nível de resistência à *Verticillium dahliae* raça 1, *Fusarium oxysporum* raças 1 e

2, ToMV estirpe Tm1, *Meloidogyne incognita* raças 1, 2, 3 e 4 e *Meloidogyne javanica*, TSWV (Vira-Cabeça) e ToSRV (Geminivírus).

As mudas de tomateiro foram plantadas no dia 08/03/2017 em canteiros cobertos com *mulching* (30 micras), conduzidas verticalmente com uma haste e com auxílio de fitilhos verticais, amarrados no fio de arame horizontalmente superior, para não prejudicar a produção e qualidade dos frutos e auxiliar na sustentação das plantas. O espaçamento utilizado foi de 1,2 m entre linhas e 0,4 m entre plantas. As plantas foram tutoradas até o sétimo cacho, onde a partir deste, fez-se o desponte.

3.2 Delineamentos experimentais e tratamentos

Foram utilizados dois inibidores da biossíntese de giberelinas e, assim, foram conduzidos dois experimentos separados. Para tanto, o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, consistindo de cinco tratamentos, com cinco blocos, onde cada tratamento compôs-se de uma concentração do produto, sendo quatro concentrações para cada produto e a testemunha. Cada parcela constituiu-se de cinco plantas úteis, sendo 225 indivíduos avaliados, mais 100 plantas para a bordadura, totalizando 325 plantas em campo.

Para o experimento I, os tratamentos foram concentrações crescentes de Cloreto de Chlormequat (CCC): T1 – testemunha (água); T2– CCC a 500 mg i.a. L⁻¹; T3– CCC a 1000 mg i.a. L⁻¹; T4– CCC a 1500 mg i.a. L⁻¹ e T5- CCC a 2000 mg i.a. L⁻¹. Tais concentrações de i.a. foram oriundas do produto comercial Tuval®, pertencente à empresa Microquímica.

Para o experimento II, os tratamentos foram concentrações crescentes de Prohexadione-Ca (ProCa): T1 – testemunha (água); T2– ProCa a 500 mg i.a. L⁻¹; T3– ProCa a 1000 mg i.a. L⁻¹; T4– ProCa a 1500 mg i.a. L⁻¹ e T5– ProCa a 2000 mg i.a. L⁻¹. Tais concentrações de i.a. foram oriundas do produto comercial Viviful®, pertencente à empresa Ihara.

As aplicações foliares dos tratamentos foram realizadas a cada 10 dias, das 9:00h às 11:00h, até o momento do desponte, totalizando 10 aplicações, as quais iniciaram aos cinco dias após o transplântio (DAT). Os produtos foram misturados em água diretamente no recipiente aplicador. A aplicação dos tratamentos foi realizada com o uso de pulverizador manual de CO₂ pressurizado, com 0,3 kgf por

cm², bicos cônicos cheios, utilizando-se cortina plástica entre os tratamentos para evitar a deriva.

3.3 Variáveis analisadas

3.3.1 Análises Biométricas

Para as análises de crescimento foram realizadas cinco medições de altura de plantas, aos 14, 28, 38, 65 e 72 DAT, até o desponte logo após o 7^o cacho. A medição de altura da plantas foi feita com o auxílio de trena graduada e realizou-se também, a contagem do número de folhas. A taxa de crescimento absoluto (TCA) foi calculada pelo quociente entre a diferença de duas medidas subsequentes pelo número de dias entre as avaliações.

Foram coletados e contados os número de brotos de quatro plantas úteis de cada parcela, retirando-se todos os brotos presentes na planta. Foram realizadas quatro coletas totais de brotos, sendo essas aos 49, 56, 63 e 70 DAT. Os brotos coletados de cada parcela foram colocados em estufa de circulação forçada de ar por 48 h e, então, se determinou a massa seca com o auxílio de balança analítica de precisão.

3.3.2 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a

As avaliações de trocas gasosas foram realizadas utilizando equipamento com sistema aberto de fotossíntese com analisador de CO₂ e vapor d'água por radiação infravermelha (*Infra Red Gas Analyser* – IRGA, modelo LI-6400, LI-COR).

As medidas foram calculadas a partir da diferença entre a concentração de CO₂ e vapor d'água do ar de referência (valor presente na câmara sem a folha) e da amostra (valor com a folha presente na câmara), obtendo-se as concentrações de vapor d'água e CO₂ que foram liberados (transpiração – vapor d'água) e assimilados (assimilação de CO₂) através dos estômatos das folhas.

Para ambos os experimentos foram realizadas quatro avaliações de trocas gasosas, aos 21, 42, 105 e 126 dias após o transplântio (DAT) as quais foram consideradas cada dia analisado uma repetição, sempre no período entre 8:00 h da manhã e 12:00 h e as características de trocas gasosas analisadas foram: taxa de assimilação de CO₂ (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$), taxa de transpiração (E , mmol vapor

d'água $\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$), condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) e concentração interna de CO_2 na folha (C_i , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}\text{ar}$). Tais características foram calculadas com a utilização da equação geral de trocas gasosas de Von Caemmerer e Farquhar (1981) através do programa de análise de dados do equipamento.

Já a eficiência do uso de água (EUA , $\mu\text{mol CO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) foi determinada através da relação entre assimilação de CO_2 e taxa de transpiração e a eficiência de carboxilação (A/C_i) foi determinada através da relação entre a taxa de assimilação de CO_2 e concentração interna de CO_2 na folha.

As medidas de fluorescência da clorofila foram realizadas através de fluorômetro acoplado ao LI-6400, pelo método do pulso saturado (MAXWELL; JOHNSON, 2000), utilizando a nomenclatura recomendada por Baker e Rosenqvist (2004). Para ambos os experimentos foram realizadas quatro avaliações de fluorescência, aos 21, 42, 105 e 126 DAT, considerando cada dia analisado uma repetição, sempre no período entre 8:00 h da manhã e 12:00 h.

Na presença de luz artificial mediu-se a fluorescência máxima (F_m'), a fluorescência no estado de equilíbrio dinâmico (F) e a fluorescência mínima (F_0'), permitindo-se calcular os seguintes parâmetros (BAKER, 2008): eficiência quântica potencial do FSII (F_v/F_m): representando o rendimento quântico da fase fotoquímica da fotossíntese; eficiência quântica das antenas (F_v/F_m'): representando a eficiência de captura da excitação dos elétrons pelos centros de reação abertos do FSII; coeficiente de extinção fotoquímico (qP): refletindo o metabolismo fotossintético do carbono; coeficiente de extinção não-fotoquímico (qNP): representando todas as outras formas de dissipação de energia, principalmente, calor e taxa aparente de transporte de elétrons (ETR), de acordo com Schreiber et al. (1986). Para o cálculo de ETR , a fração de excitação de energia distribuída para o FSII foi considerada 0,5 e a fração de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) absorvida pela folha, 0,84 (DEMMIG; BJÖRKMAN, 1987).

3.3.3 Análises enzimáticas

Foram realizadas cinco coletas de folhas totalmente expandidas ao longo de todo experimento, aos 21, 42, 63, 84 e 112 DAT. As folhas foram coletadas sempre das 9:00h às 11:00h, embaladas em saco plástico e papel alumínio e congeladas imediatamente em nitrogênio líquido, sendo armazenadas em ultrafreezer à -70°C .

A extração enzimática foi realizada segundo metodologia proposta por Kar e Mishra (1976). Utilizou-se 300 mg de folhas frescas congeladas e trituradas em nitrogênio líquido. Em seguida, homogeneizou-se o material vegetal em 4 mL de tampão fosfato de potássio gelado (0,1 M, pH 6,8). A solução extraída foi centrifugada a 10000 x g por 10 minutos a 4°C. O extrato obtido foi separado em microtubos de 3 mL e armazenado a -20°C para posterior determinação.

Determinou-se a quantificação das proteínas solúveis no extrato de acordo com metodologia proposta por Bradford (1976). O sistema de reação foi composto por 100 µL de extrato enzimático e 5000 µL de reativo de Bradford. A reação foi conduzida à temperatura ambiente por 15 minutos e fez-se a leitura de absorbância em espectrofotômetro a 595 nm. Foi utilizada solução de caseína a 1% para confecção da curva padrão e o teor de proteína da amostra expressou-se em mg de proteína g⁻¹ de matéria fresca.

A determinação da atividade da superóxido dismutase (SOD) foi realizada pelo método de Giannopolitis e Reis (1977) e leva em consideração a capacidade da enzima em inibir a fotorredução do NBT (azul de cloreto de nitrotetrazólio). A atividade foi determinada pela adição de 50 µL de extrato bruto, a uma solução contendo 13 mM de metionina, 75 µL de NBT, 100 nM de EDTA e 2 µM de riboflavina em 3,0 mL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,8. A reação iniciou-se pela iluminação dos tubos, em câmara composta por lâmpadas fluorescentes (15 W), a 25°C. Após 5 minutos de incubação, o final da catálise foi determinado pela interrupção da luz e, então, foi realizada a leitura em espectrofotômetro a 560 nm. Uma unidade de SOD é definida como a atividade da enzima necessária para a inibição de 50% da fotorredução do NBT. Para o cálculo da atividade específica da enzima considera-se a porcentagem de inibição obtida, o volume da amostra e a concentração de proteína solúvel da amostra (µg µL⁻¹).

Realizou-se a determinação da catalase (CAT) em espectrofotômetro sob comprimento de onda de 240 nm pelo monitoramento da variação da absorção do peróxido de hidrogênio, conforme Peixoto et al. (1999). Para o teste, 50 µL de extrato bruto foram adicionados a 950 µL de tampão fosfato de potássio 50 mM, pH 7,0, suplementado com peróxido de hidrogênio a uma concentração final de 12,5 mM. A variação da absorção (E) foi calculada num intervalo de 80 segundos, sendo a atividade da enzima calculada utilizando-se coeficiente de extinção molar de 39,4

mM cm⁻¹. A atividade específica ($\mu\text{Kat } \mu\text{g prot}^{-1}$) da catalase foi explanada levando em consideração a concentração de proteína solúvel na amostra.

A atividade da peroxidase (POD) foi determinada de acordo com Teisseire e Guy (2000). O sistema de reação foi composto de 30 μL de extrato enzimático diluído (1:10 em tampão de extração); tampão fosfato de potássio 50 mmol L⁻¹ pH 6,5; pirogalol (1,2,3-benzenotriol) 20 mmol L⁻¹ e peróxido de hidrogênio (H₂O₂) 5 mmol L⁻¹; totalizando um volume de 1,0 mL. A reação foi conduzida à temperatura ambiente por 5 minutos. A formação de purpurogalina foi medida em espectrofotômetro UV-visível a 430 nm e seu coeficiente de extinção molar (2,5 mmol L⁻¹ cm⁻¹) foi usado para calcular a atividade específica da enzima, expressa em $\mu\text{mol de purpurogalina min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína.

A peroxidação de lipídios (TBAR) foi determinada pela técnica descrita por Heath e Packer (1968) citada por Rama Devi e Prasad (1998). Foram utilizadas 300 mg de folhas frescas congeladas, as quais foram colocadas em almofariz e trituradas em nitrogênio líquido. Em seguida, homogeneizou-se o material vegetal em 5mL de solução contendo ácido tiobarbitúrico (TBA) 0,25% e ácido tricloroacético (TCA) 10%. A solução extraída foi incubada em banho-maria a 90°C por 60 minutos. Após o resfriamento, a solução foi centrifugada a 10000 x g por 15 minutos, à temperatura ambiente (25°C). Em seguida, o sobrenadante coletado de cada amostra foi submetido à leitura de absorvância em espectrofotômetro a 560 e 600 nm. Para os cálculos, utilizou-se o coeficiente de extinção molar do malondialdeído (155 mmol L⁻¹ cm⁻¹).

Realizou-se a determinação do conteúdo de peróxido de hidrogênio, segundo método de Alexieva et al. (2001). Foram utilizadas 0,1 g de amostras maceradas e congeladas em nitrogênio líquido, as quais foi adicionado 1 mL de TCA 0,1% e agitadas em vórtex, em seguida, foram centrifugadas a 12000 g por 15 minutos a 4°C. A reação iniciou-se com a adição de 0,5 mL de extrato, 0,5mL de tampão fosfato 0,1 M de pH 7,0 e 2,0 mL de iodeto de potássio a 1M. O conteúdo foi incubado no escuro por uma hora e realizou-se a leitura em espectrofotômetro com comprimento de onda de 390 nm. Calculou-se a concentração de peróxido de hidrogênio nas amostras através de curva do próprio peróxido de hidrogênio.

3.3.4 Análises físico químicas de fruto e de produção

As colheitas dos frutos foram realizadas semanalmente, iniciando-se aos 79 DAT e os frutos foram transportados até o Laboratório de Pesquisas de Campo, no Departamento de Horticultura FCA/UNESP – Botucatu. O ponto de colheita foi considerado a partir do início do aparecimento da coloração vermelha no fruto, chamado 'de vez', onde estes foram colhidos de quatro plantas úteis de cada parcela.

Os frutos de cada parcela foram separados em comerciais e não comerciais e aqueles enquadrados como comerciais foram posteriormente classificados de acordo com o calibre com o auxílio de um classificador adaptado, de acordo com as Normas de Classificação do Tomate (CQH/CEAGESP, 2003) e depois contados. Posteriormente, realizou-se a pesagem dos frutos com auxílio de balança analítica de precisão de um grama.

Para as análises físico-químicas foram coletados, triturados e homogeneizados dois frutos com maturação padronizada do quarto cacho de cada planta que compõe cada parcela, os quais foram triturados e homogeneizados. Foi realizada leitura dos teores de sólidos solúveis (SS) com o uso de refratômetro digital Atago, conforme recomendação da A.O.A.C. (2005). Os resultados foram expressos em °Brix. Para a determinação do pH, a medição foi realizada através de extrato aquoso da polpa do fruto, em potenciômetro Micronal modelo B-221, conforme as normas do Instituto Adolfo Lutz, publicadas em Brasil (2005).

Para a determinação da acidez titulável (AT), expressa em gramas de ácido cítrico por 100 g de polpa, utilizou-se também a recomendação do mesmo autor e os resultados foram obtidos por meio de titulação de 5 g de polpa homogeneizada e diluída para 100 mL de água destilada, com solução padronizada de hidróxido de sódio a 0,1 N, tendo como indicador a fenolftaleína.

A relação SS/AT (*Ratio*) foi determinada através da relação entre o teor de sólidos solúveis e acidez titulável (TRESSLER; JOSLYN, 1961).

3.4 Análise estatística dos dados

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (teste F) e aplicou-se o teste Tukey para a comparação de médias das variáveis classificação de frutos,

trocas gasosas e fluorescência, e a análise de regressão linear e polinomial quadrática para as demais variáveis, ambas pelo software Sisvar 5.6.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As medidas máxima e mínima diárias de temperatura do ar observadas no interior da estufa foram acompanhadas ao longo dos experimentos (Figura 01).

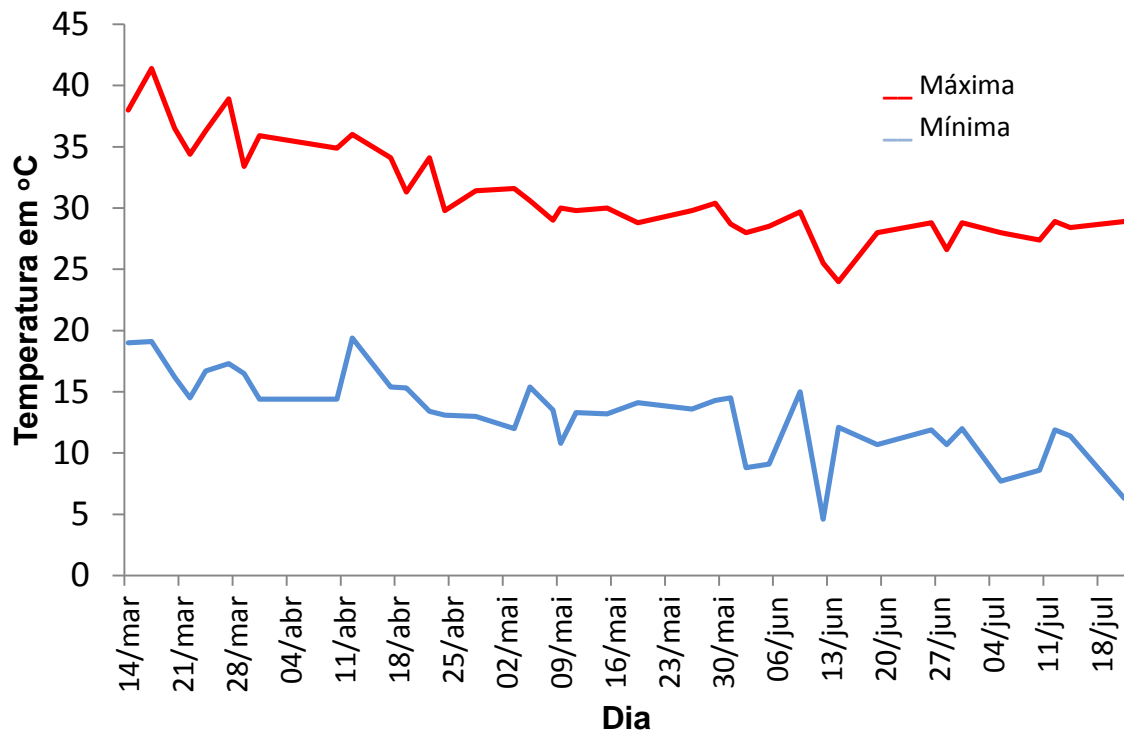


Figura 1. Temperaturas máximas e mínimas observadas no interior da estufa ao decorrer dos experimentos

4.1 Crescimento vegetativo

Para o experimento II, a variável altura de plantas (AP) adequou-se ao modelo de regressão quadrática. Houve redução na altura de plantas conforme o aumento das concentrações (Figura 02). O mesmo não ocorreu para a variável altura de plantas (AP) no experimento I (Tabela 02).

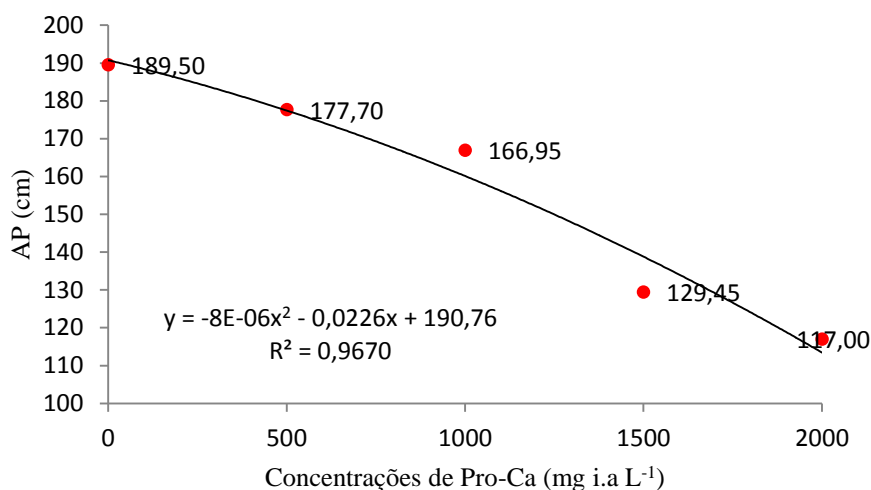


Figura 2. Altura de plantas (cm) de tomateiro híbrido Santy® em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de Pro-Ca.

Tabela 2. Média de número de folhas (NF) e altura de plantas (AP) de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC e NF de tomateiros híbridos Santy® submetidos a diferentes concentrações de Pro-Ca.

Tratamentos (concentrações)	Experimento I (CCC)		Experimento II (ProCa)
	NF	AP (cm)	NF
T1 - água	28,1	189,5	28,1
T2 – 500 mg i.a. L ⁻¹	28,8	192,7	29,4
T3 – 1000 mg i.a. L ⁻¹	27,9	185,9	29,7
T4 – 1500 mg i.a. L ⁻¹	28,9	188,2	29,2
T5 – 2000 mg i.a. L ⁻¹	28,9	184,2	28,6
CV (%)	3,40	4,34	4,38

Esse fato se deve pela ação inibitória do ProCa à síntese de giberelina endógena, proporcionando redução, principalmente, no alongamento celular. Demais trabalhos com ProCa demonstraram resultados similares. Em macieira, o ProCa reduziu em 50% o tamanho das plantas, também não alterando seu número de folhas (GUAK et al., 2001). Em berinjela (*Solanum melongena*), Ozbay e Ergun (2015) também relataram redução na altura de plantas proporcional à variação das concentrações utilizadas, apresentando redução de 27, 32 e 38% nas concentrações de 50, 100 e 150 mg L⁻¹ do produto, respectivamente.

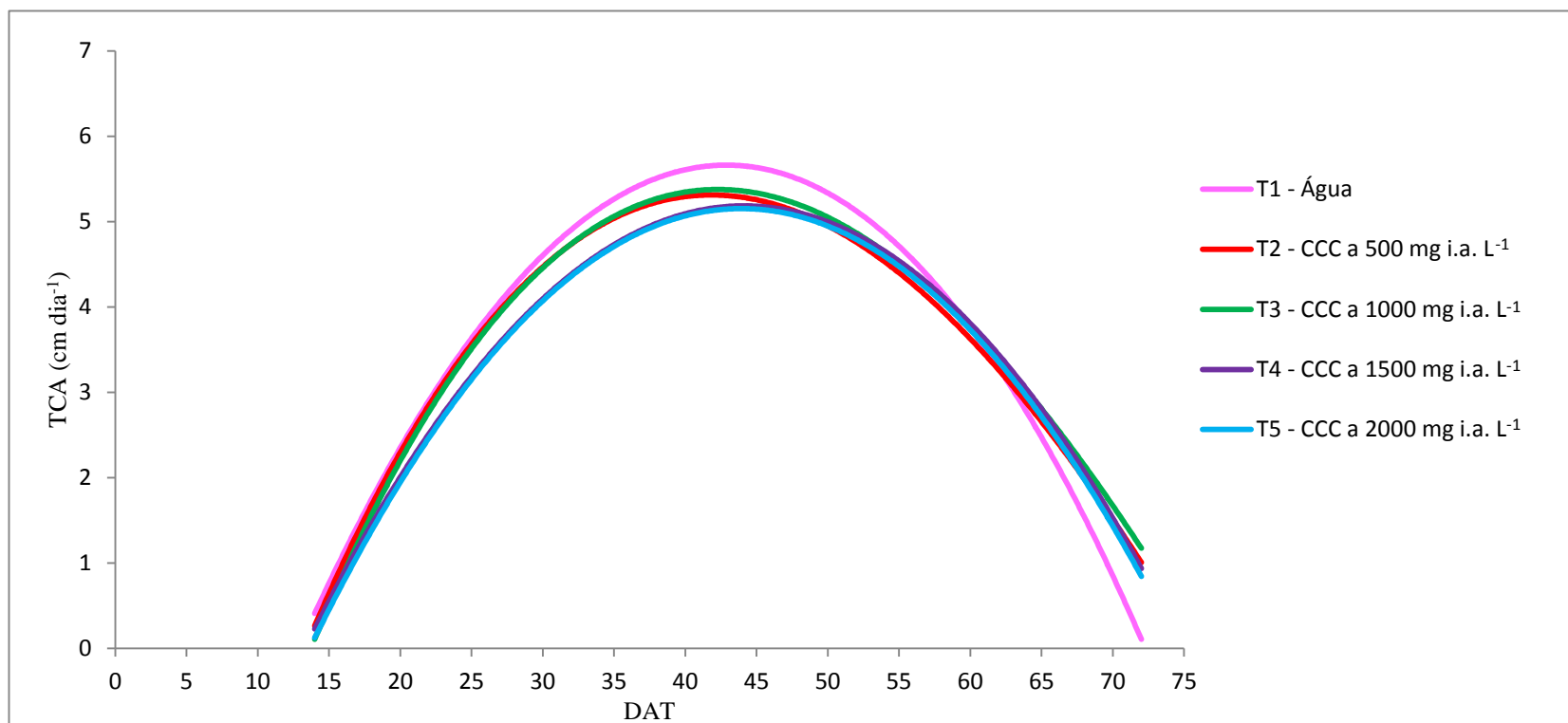
A não alteração da AP no experimento I não foi semelhante com outras culturas já estudadas, como o algodoeiro e margarida-do-cabo (*Osteospermum ecklonis*) (CARVALHO, 1994; OLSEN; ANDERSEN, 1995), as quais apresentaram

redução de altura de plantas de forma proporcional ao aumento das concentrações de CCC.

Para a variável número de folhas (NF), em ambos os experimentos, os dados não se adequaram aos modelos estatísticos de regressão utilizados (Tabela 05). Esta variável pode ser atribuída à característica genética da planta, porém eventualmente as aplicações de reguladores vegetais podem interferir na expressividade de genes e assim, influenciar nessa variável, o que não ocorreu nos experimentos. Diferentes trabalhos com outras culturas demonstraram resultados diferentes. Oliveira e colaboradores (2005) demonstram que a aplicação de CCC em plantas de *Passiflora alata* na dose de 50 mg L⁻¹ acarretou no aumento do número de folhas aos 49 dias após a semeadura, porém a concentração de 100 mg L⁻¹ resultou na redução no número de folhas. Reekie (2005) verificou incremento no número de folhas de morangueiro no 42º dia após aplicação de 62,5 mg L⁻¹ de ProCa.

No experimento I, os tratamentos não promoveram diferenças significativas nas taxas de crescimento absoluto (TCA) (Figura 03). No experimento II, as plantas do tratamento controle apresentaram maior TCA e as plantas submetidas à aplicação do regulador vegetal ProCa, apresentaram redução nessa variável com o incremento das concentrações ao longo do ciclo, porém, apesar da redução, o comportamento das curvas apresentou-se de forma similar, de modo que o produto apenas reduziu a velocidade de crescimento (Figura 04).

O comportamento da TCA foi adequado ao crescimento da cultura do tomateiro em ambos os experimentos. Conforme estudos anteriores (FAYAD, 2001; RODRIGUES, 2010; LOPES, 2010), o crescimento ocorre de forma acelerada dos 20 aos 45 DAT, pois nesse período as plantas ainda não iniciaram seu desenvolvimento reprodutivo, após esse período o crescimento continua, porém, tende a ser mais lento devido a competição das flores e frutos com ramos e folhas pelos produtos e subprodutos da fotossíntese, corroborando com os resultados apresentados neste estudo.



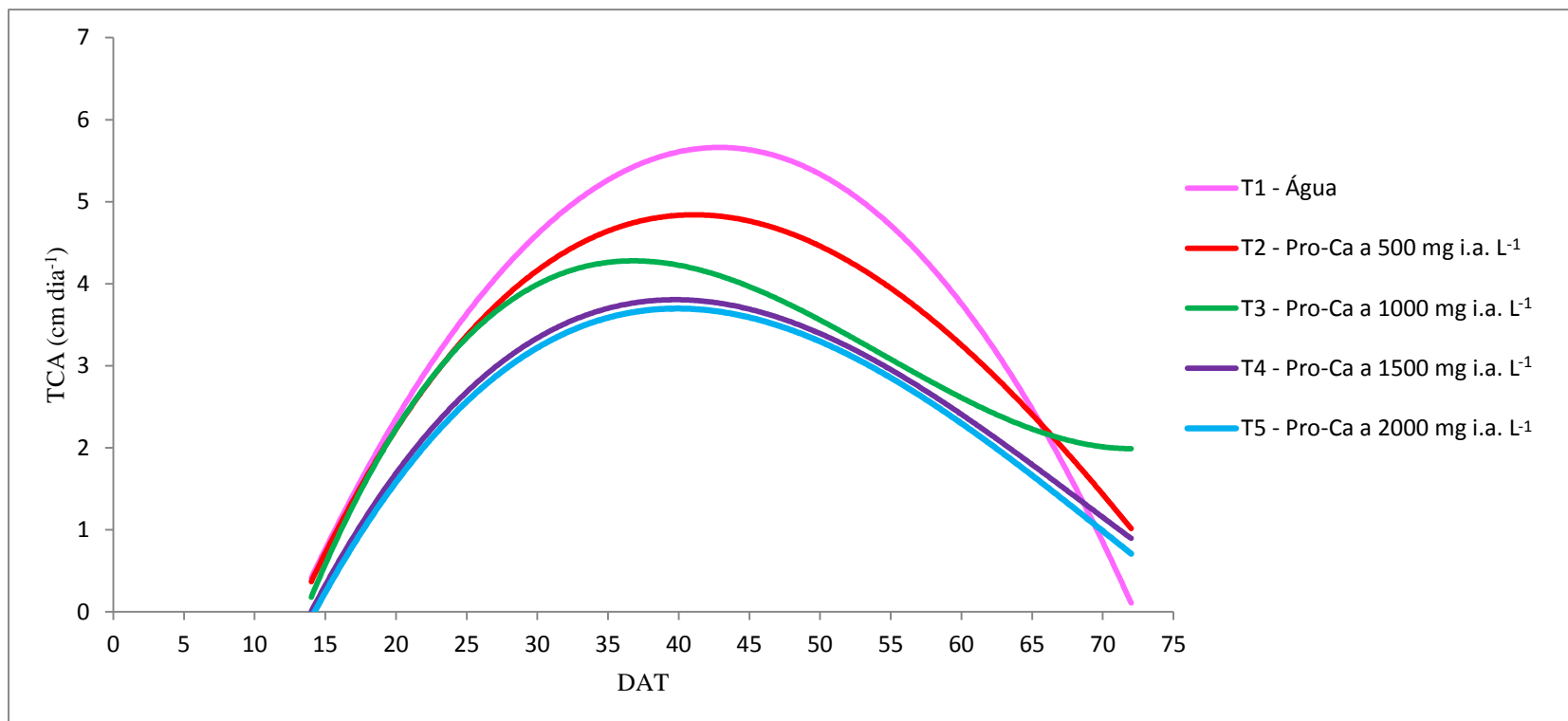


Figura 4. Taxa de crescimento absoluto (TCA) (cm dia⁻¹) de plantas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de Pro-Ca.

4.2 Avaliação de brotações laterais

Para ambos os experimentos, a variável número de brotações (NB) não apresentou diferença estatística significativa entre os tratamentos. O mesmo ocorreu para a variável massa seca de brotações (MSB) no experimento I (Tabela 03). Para o experimento II, a MSB ajustou-se ao modelo de regressão quadrática (Figura 05).

Tabela 3. Média de brotos (NB) e massa seca de brotos (g) (MSB) de plantas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC e NB de plantas submetidas a diferentes concentrações de ProCa.

Tratamentos (concentrações)	Experimento I (CCC)		Experimento II (ProCa)
	NB	MSB (g)	NB
T1 - água	26,3	8,34	26,3
T2 – 500 mg i.a. L ⁻¹	29,3	11,42	29,3
T3 – 1000 mg i.a. L ⁻¹	22,3	9,10	31,7
T4 – 1500 mg i.a. L ⁻¹	27,3	9,39	28,3
T5 – 2000 mg i.a. L ⁻¹	27,7	10,48	26,7
CV (%)	14,47	45,66	10,18

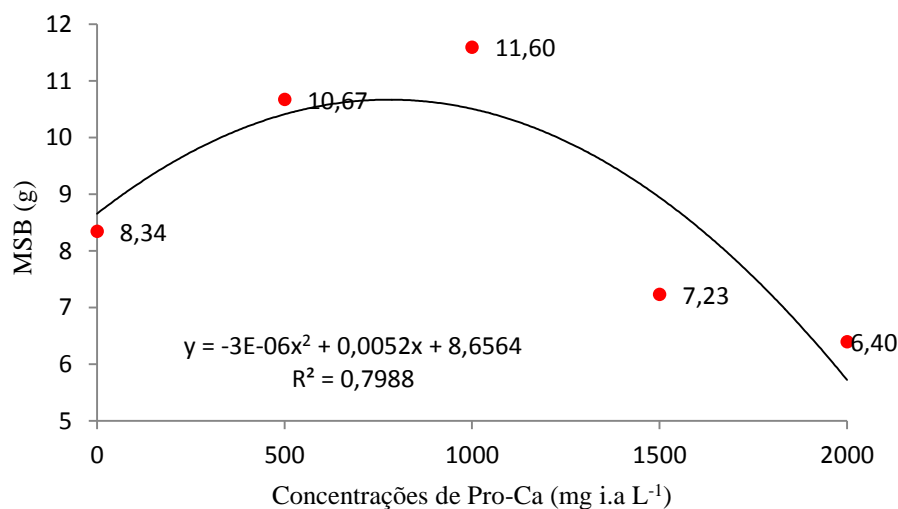


Figura 5. Massa seca de brotos (g) (MSB) de tomateiro híbrido Santy® em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de prohexadione-Ca (Pro-Ca).

É conhecido o uso de ProCa para o controle do crescimento de ramos vegetativos em frutíferas. Carra et al. (2016), observou diminuição no crescimento de ramos em pereira proporcionalmente às concentrações aplicadas (0, 100, 200, 300 e 400 mg i.a. L⁻¹, e, de forma semelhante a este estudo, as maiores concentrações de ProCa (1500 mg i.a. L⁻¹ e 2000 mg i.a. L⁻¹) diminuíram o crescimento de ramos vegetativos laterais, reduzindo a MSB. Entretanto este fato

não ocorreu para as concentrações de 500 mg i.a. L⁻¹ e 1000 mg i.a. L⁻¹, onde constatou-se incremento. Em hortaliças, há escassez de trabalhos que avaliem a relação de inibidores de crescimento na emissão de brotações laterais.

4.3 Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a

Para trocas gasosas no experimento I, os dados demonstraram que a maior concentração do produto aplicado resultou, estatisticamente, em uma maior taxa de assimilação de CO₂ comparativamente à testemunha, e para *EUA* apenas a aplicação de CCC a 1000 mg i.a. L⁻¹ apresentou diferença estatística à testemunha ($P < 0,005$). Os demais tratamentos não diferiram estatisticamente entre si (Tabela 4).

Tabela 4. Taxa de assimilação de CO₂ (*A*, $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); condutância estomática (*g_s*, $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), concentração interna de CO₂ na folha (*C_i*, $\mu\text{mol mol}^{-1}$), taxa de transpiração (*E*, $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), eficiência do uso da água (*A/E*, $\mu\text{molCO}_2 (\text{mmol H}_2\text{O})^{-1}$) e eficiência de carboxilação (*A/C_i*) em plantas de tomateiro híbrido *Santy* submetidas a diferentes concentrações de CCC.

Tratamentos (concentrações de CCC)	<i>A</i>	<i>g_s</i>	<i>C_i</i>	<i>E</i>	<i>EUA</i>	<i>A/C_i</i>
T1 - água	16,28 b	0,22 a	256,56 a	3,22 a	4,86 b	0,09 a
T2 – 500 mg i.a. L ⁻¹	18,50 ab	0,19 a	221,22 a	2,88 a	6,16 ab	0,19 a
T3 – 1000 mg i.a. L ⁻¹	18,55 ab	0,19 a	206,92 a	2,89 a	7,77 a	0,11 a
T4 – 1500 mg i.a. L ⁻¹	17,89 ab	0,18 a	219,69 a	2,85 a	6,16 ab	0,12 a
T5 – 2000 mg i.a. L ⁻¹	20,65 a	0,19 a	219,52 a	2,89 a	6,78 ab	0,13 a
CV (%)	16,93	37,14	18,98	35,37	32,78	98,57
p-valor	0,024*	0,717 ^{ns}	0,071 ^{ns}	0,899 ^{ns}	0,022*	0,386 ^{ns}
DMS	3,590	0,082	49,701	1,202	2,401	0,143

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ns= não significativo *= significativo a 5% de probabilidade.

Apesar de não diferirem estatisticamente nas demais variáveis, a baixa taxa de assimilação de CO₂ da testemunha comparativamente com o tratamento de maior concentração de CCC aplicado, demonstrou que, na testemunha, a atuação da enzima de carboxilação Rubisco não apresentou eficiência tanto quanto no tratamento de maior concentração de CCC. Isso é comprovado tanto através dos dados de condutância estomática e concentração interna de CO₂ na folha que, numericamente, são maiores na testemunha dando totais condições de maior assimilação, mas não houve correspondência com o aumento da taxa de assimilação de CO₂, bem como a eficiência de carboxilação da mesma, que foi menor neste tratamento.

Para as variáveis de fluorescência, o experimento I demonstrou que a testemunha apresentou menor coeficiente de extinção fotoquímico e taxa aparente de transporte de elétrons comparada com os demais tratamentos. Isso mostra que as plantas do tratamento testemunha apresentaram menor transporte de elétrons entre os fotossistemas II e I quando comparada com os demais tratamentos, bem como menor direcionamento da energia luminosa para a produção de NADPH₂ e ATP utilizados no ciclo de Calvin-Benson (Tabela 5). Apesar dos resultados de trocas gasosas e fluorescência do experimento I demonstrarem que houve interferência em alguns parâmetros fisiológicos, tal influência não foi suficiente para resultar em decréscimo na produção de frutos nos tratamentos.

Tabela 5. Eficiência quântica potencial do FSII (F_v/F_m); eficiência quântica das antenas (F_v'/F_m'), coeficiente de extinção fotoquímico (qP), coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ), taxa aparente de transporte de elétrons (ETR) de plantas de tomateiro híbrido Santy submetidas a diferentes concentrações de CCC.

Tratamentos (concentrações de CCC)	F_v/F_m	F_v'/F_m'	qP	NPQ	ETR
T1 - água	0,91 a	0,57 a	0,37 b	1,39 a	87,66 b
T2 – 500 mg i.a. L ⁻¹	0,92 a	0,56 a	0,50 a	1,54 a	119,32 a
T3 – 1000 mg i.a. L ⁻¹	0,92 a	0,55 a	0,52 a	1,59 a	126,42 a
T4 – 1500 mg i.a. L ⁻¹	0,93 a	0,56 a	0,48 a	1,59 a	115,62 a
T5 – 2000 mg i.a. L ⁻¹	0,94 a	0,57 a	0,47 a	1,54 a	115,95 a
CV (%)	3,76	4,70	13,02	14,74	13,13
p-valor	0,304 ^{ns}	0,621 ^{ns}	0,000*	0,178 ^{ns}	0,000*
DMS	0,040	0,030	0,017	0,259	17,124

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ns= não significativo *= significativo a 5% de probabilidade.

No experimento II, as concentrações de ProCa aplicadas não influenciaram nas variáveis de trocas gasosas analisadas (Tabela 06). Esse resultado mostra que o ProCa não alterou esses processos fisiológicos, apenas limitou o crescimento e divisão celular.

Tabela 6. Taxa de assimilação de CO₂ (*A*, μmol m⁻²s⁻¹); condutância estomática (*g*, mol m⁻² s⁻¹), concentração interna de CO₂ na folha (*C_i*, μmol mol⁻¹), taxa de transpiração (*E*, mmol m⁻² s⁻¹), eficiência do uso da água (*A/E*, μmolCO₂ (mmol H₂O)⁻¹) e eficiência de carboxilação (*A/C_i*) em plantas de tomateiro híbrido Santy submetidas a diferentes concentrações de ProCa.

Tratamentos (concentrações de ProCa)	<i>A</i>	<i>g</i>	<i>C_i</i>	<i>E</i>	<i>EUA</i>	<i>A/C_i</i>
T1 - água	16,28 a	0,22 a	256,56 a	3,22 a	4,86 a	0,09 a
T2 – 500 mg i.a. L ⁻¹	20,02 a	0,21 a	237,90 a	3,35 a	5,19 a	0,18 a
T3 – 1000 mg i.a. L ⁻¹	16,97 a	0,18 a	226,04 a	2,97 a	5,71 a	0,12 a
T4 – 1500 mg i.a. L ⁻¹	17,30 a	0,23 a	253,99 a	3,58 a	4,51 a	0,10 a
T5 – 2000 mg i.a. L ⁻¹	21,25 a	0,25 a	237,58 a	3,81 a	5,56 a	0,11 a
CV (%)	33,33	28,06	18,33	27,47	34,78	90,59
p-valor	0,221 ^{ns}	0,088 ^{ns}	0,425 ^{ns}	0,228 ^{ns}	0,464 ^{ns}	0,281 ^{ns}
DMS	7,063	0,070	51,269	1,073	2,074	0,125

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ns= não significativo *= significativo a 5% de probabilidade.

Para as variáveis de fluorescência houve diferença estatística apenas para as variáveis coeficiente de extinção fotoquímico e taxa aparente de transporte de elétrons entre o tratamento testemunha e a maior concentração aplicada, de modo que a testemunha foi inferior (Tabela 07).

Tabela 7. Eficiência quântica potencial do FSII (*F_v/F_m*); eficiência quântica das antenas (*F_v'/F_m'*), coeficiente de extinção fotoquímico (*qP*), coeficiente de extinção não-fotoquímico (*NPQ*), taxa aparente de transporte de elétrons (*ETR*) de plantas de tomateiro híbrido Santy submetidas a diferentes concentrações de ProCa.

Tratamentos (concentrações de ProCa)	<i>F_v/F_m</i>	<i>F_v'/F_m'</i>	<i>qP</i>	<i>NPQ</i>	<i>ETR</i>
T1 - água	0,91 a	0,57 a	0,37 b	1,39 a	87,66 b
T2 – 500 mg i.a. L ⁻¹	0,93 a	0,58 a	0,39 ab	1,43 a	93,71 ab
T3 – 1000 mg i.a. L ⁻¹	0,93 a	0,53 a	0,47 ab	1,57 a	108,60 ab
T4 – 1500 mg i.a. L ⁻¹	0,93 a	0,54 a	0,45 ab	1,56 a	100,41 ab
T5 – 2000 mg i.a. L ⁻¹	0,91 a	0,55 a	0,48 a	1,56 a	114,29 a
CV (%)	3,11	5,32	18,78	14,76	19,89
p-valor	0,207 ^{ns}	0,006 ^{ns}	0,006*	0,133 ^{ns}	0,013*
DMS	0,033	0,051	0,098	0,255	23,172

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ns= não significativo *= significativo a 5% de probabilidade

Esses resultados mostram que a aplicação de 2000 mg i.a L⁻¹ de ProCa favoreceu o transporte de elétrons do fotossistema II para o I, bem como a utilização da energia luminosa para o metabolismo fotossintético do carbono, através dos valores superiores encontrados no coeficiente de extinção fotoquímico. Tais dados não confirmam os resultados encontrados no trabalho de Giannakoula e Ilias (2007),

que testaram quatro diferentes concentrações de ProCa (0, 100, 200 e 300 mg i.a L⁻¹) aplicados em tomateiro, no qual observaram redução dos parâmetros de fluorescência da clorofila *a*.

O incremento observado no coeficiente de extinção fotoquímico e taxa aparente de transporte de elétrons do tratamento com maior concentração de ProCa não foi suficiente para favorecer a assimilação de CO₂, uma vez que não refletiu em aumento significativo na taxa de assimilação de CO₂ e produção de frutos devido ao desenvolvimento das plantas afetado pela inibição da síntese de giberelina e a consequente limitação de crescimento e alongamento celular causado pela aplicação do produto.

4.4 Análises enzimáticas

Foram realizadas coletas de folhas para avaliação da influência dos tratamentos no sistema antioxidante enzimático das plantas em ambos os experimentos, aos 21, 42, 63, 84 e 112 DAT. Para o experimento I, houve adequação aos modelos estatísticos de regressão nas coletas correspondentes aos 21 e 63 DAT, apenas para as variáveis do teor de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica, respectivamente (figura 06).

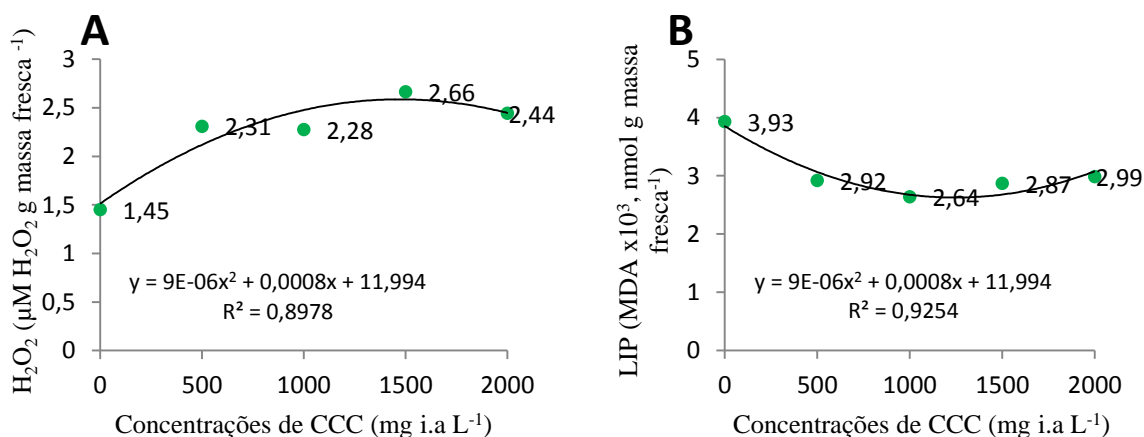


Figura 6. A – Valores médios de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) por grama de massa fresca (µM H₂O₂ g massa fresca⁻¹) de folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 21 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC; B – Valores médios da peroxidação de lipídios (MDA x 10³, nmol g massa fresca⁻¹) em folhas de tomateiro aos 63 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC.

A alteração da quantidade de peróxido de hidrogênio aos 21 DAT ocorreu devido ao estresse causado pelo transplântio para adaptação ao interior da estufa, bem como as aplicações terem iniciado logo aos cinco DAT, momento em que as plantas estavam mais susceptíveis ao estresse, resultando numa quantidade de peróxido de hidrogênio maior nas plantas submetidas ao produto. Isso induziu a produção e atuação de enzimas antioxidantes que agiram no combate às ROS na coleta subsequente, através do comportamento da variável peroxidação lipídica, onde, comparativamente com a testemunha, a peroxidação foi menor nos tratamentos submetidos à aplicação de CCC. Para as demais variáveis e coletas não houve adequação dos dados aos modelos utilizados, as concentrações utilizadas não foram suficientes para acarretarem alterações oxidativas, uma vez que as plantas provavelmente estavam adaptadas ao ambiente (Tabela 08).

Os resultados mostram que no experimento I, a aplicação de CCC apresentou aos 21 DAT quantidade de peróxido de hidrogênio variável de acordo com as concentrações utilizadas, com o tratamento controle apresentando o menor valor. Apesar disso, a aplicação do produto não influenciou significativamente no aumento da atividade das enzimas antioxidantes, SOD, POD e CAT. De mesmo modo, na variável peroxidação lipídica, aos 63 DAT, apesar dos resultados apresentarem dispostos no modelo de regressão quadrática, a variação dos valores foi pequena e não houve correlação com atividade das enzimas SOD, POD e CAT.

Em concentrações não prejudiciais, as ROS possuem funcionalidade de sinalização e regulação fisiológica das células. Tais resultados demonstram que a alteração da quantidade de peróxido de hidrogênio produzido pelas plantas não foi suficiente para a maior ativação do sistema enzimático antioxidante. O mesmo resultado foi observado por Macedo (2015) no qual foram testados diferentes produtos de efeitos fisiológicos na cultura do melão e, apesar de apresentarem variação na quantidade de peróxido de hidrogênio, a atividade das enzimas SOD e Peroxidação lipídica não diferiu estatisticamente.

Entretanto, os dados conflitam com os observados por Anosheh et al. (2012) os quais relatam aumento de 27,7% na atividade da SOD em trigo sob estresse hídrico submetidas à aplicação foliar de CCC a 2,5 g L⁻¹, resultado este devido ao fator hídrico e atuação do produto, bem como Wang (2010) que observou incremento da atividade de SOD, POD e CAT em comparação ao controle em folhas de batata submetidas à aplicação de CCC a 2,0 g L⁻¹.

Para o experimento II, a aplicação de ProCa resultou em dados que não se enquadraram a nenhum modelo estatístico de regressão utilizado nas avaliações aos 21 e 112 DAT (Tabela 09). Na avaliação aos 42 DAT, os resultados demonstraram crescente atividade da SOD e POD, conforme aumento das concentrações aplicadas (Figura 07).

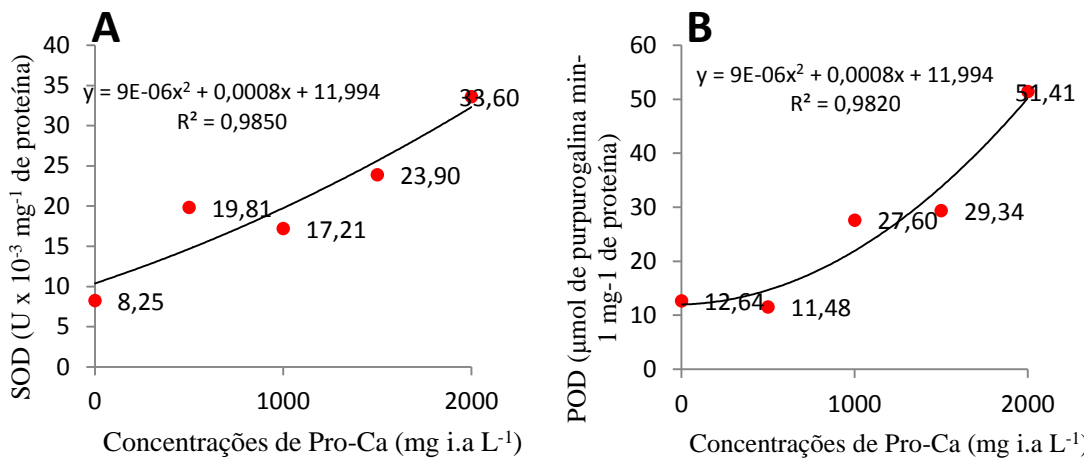


Figura 7. A - Atividade da enzima superóxido dismutase (SOD $\times 10^{-3}$, $U \text{ mg}^{-1}$ de proteína) de folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 42 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de Pro-Ca; B – atividade da peroxidase (POD, $\mu\text{mol de purpurogalina min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína) de folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 42 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de Pro-Ca.

A enzima SOD constitui a chamada primeira linha de defesa contra ROS, atuando na dismutação do radical superóxido ($O_2^{\circ-}$) a peróxido de hidrogênio. Em seguida é necessária a ação de outras enzimas com o objetivo de reduzir os níveis intracelulares de H_2O_2 , tais como a peroxidase (POD) e catalase (CAT). O equilíbrio entre a produção de ROS e o sistema antioxidante é fundamental para o funcionamento de qualquer organismo aeróbico; assim, o aumento da atividade dessas enzimas é explicado pelos dados observados nas duas avaliações subsequentes, aos 63 e 84 DAT (Figuras 08 e 09, respectivamente), onde os valores de peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica decresceram conforme aumento das concentrações de ProCa.

Apesar do peróxido de hidrogênio ser pouco reativo em comparação às demais ROS, esse tem alta capacidade de transpor membranas e gerar o radical livre mais reativo, a hidroxila. Tais resultados mostram a ação prejudicial do ProCa na cultura do tomateiro híbrido Santy®, demonstrando também que as respostas fisiológicas enzimáticas das plantas foram necessárias para combater os danos causados pela geração de ROS e pelo conseqüente estresse oxidativo. Os dados

observados da enzima CAT não diferiram entre os tratamentos, isso pode ser explicado pela ação da peroxidase, que, de forma eficiente, modulou a presença de peróxido de hidrogênio e degradou em H₂O e O₂, não necessitando maior atividade da CAT.

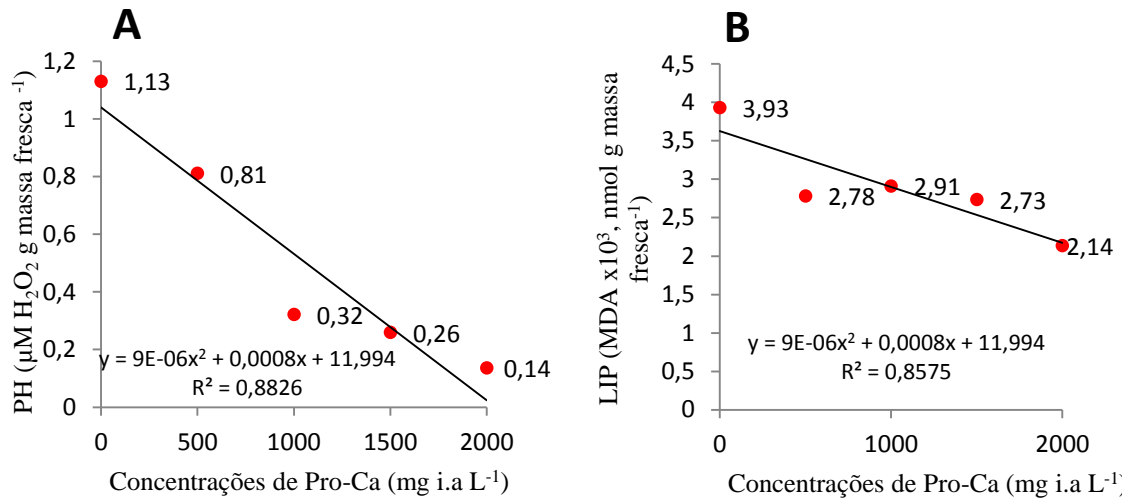


Figura 8. A – Valores médios de peróxido de hidrogênio por grama de massa fresca ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2$ g massa fresca⁻¹) de folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 63 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de Pro-Ca; B – Valores médios de peroxidação de lipídios (MDA $\times 10^3$, nmol g massa fresca⁻¹) em folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 63 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de Pro-Ca.

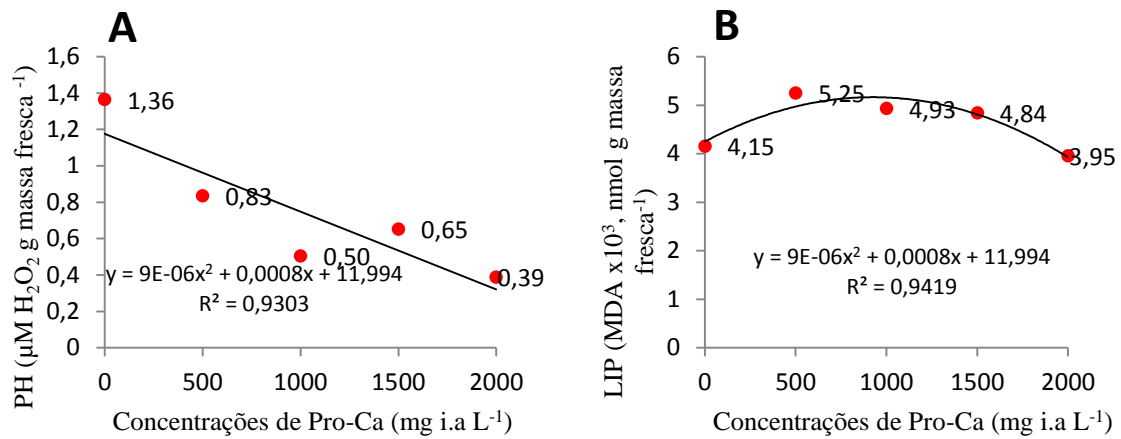


Figura 9. A – Valores médios de peróxido de hidrogênio por grama de massa fresca ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ g massa fresca}^{-1}$) de folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 84 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de Pro-Ca; B – Valores médios de peroxidação de lipídios (MDA $\times 10^3, \text{ nmol g massa fresca}^{-1}$) em folhas de tomateiro híbrido Santy® aos 84 DAT em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de Pro-Ca.

Tabela 8. Média de valores de peróxido de hidrogênio (PH) ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2$ g massa fresca⁻¹), peroxidação de lipídios (LIP) (MDA $\times 10^3$, nmol g massa fresca⁻¹), superóxido dismutase (SOD $\times 10^{-3}$, U mg⁻¹ de proteína), catalase (CAT, $\mu\text{Kat } \mu\text{g}^{-1}$ de proteína) e atividade da peroxidase (POD, μmol de purpurogalina min⁻¹ mg⁻¹ de proteína) em folhas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC e coletadas as 21, 42, 63, 84, 112 DAT.

EXPERIMENTO I (CCC)																									
Tratamentos (concentrações)	21 DAT					42 DAT					63 DAT					84 DAT					112 DAT				
	H ₂ O ₂	LIP	SOD	CAT	POD	H ₂ O ₂	LIP	SOD	CAT	POD	H ₂ O ₂	LIP	SOD	CAT	POD	H ₂ O ₂	LIP	SOD	CAT	POD	H ₂ O ₂	LIP	SOD	CAT	POD
T1 - água	1,45	3,47	0,82	5,79	3,98	1,32	4,09	8,25	8,27	10,71	1,13	3,93	7,02	10,39	12,82	1,36	4,15	23,1	56,3	45,35	1,67	2,92	3,53	5,6	17,81
T2 – 500 mg i.a. L ⁻¹	2,31	2,82	0,87	3,98	4,87	1,2	4,48	8,04	6,04	11,2	1,48	2,92	5,74	14,86	8,5	1,11	4,56	27,81	61,26	53,56	2,05	3,21	3,39	7,25	16,42
T3 – 1000 mg i.a. L ⁻¹	2,28	2,02	0,89	2,52	4,59	1,85	4,36	7,74	12,27	8,42	1,41	2,64	4,23	17,05	10,44	1,17	4,28	19,14	42,4	41,33	1,54	3,55	4,14	5,56	19,25
T4 – 1500 mg i.a. L ⁻¹	2,66	2,38	0,87	0,55	3,64	1,59	3,35	8,37	2,3	4,38	0,99	2,87	4	13,66	8,51	1,51	4,48	17,68	56,36	80,08	1,87	3,09	4,03	2,82	17,51
T5 – 2000 mg i.a. L ⁻¹	2,44	2,25	0,86	0,75	4,02	1,49	4,46	8,15	4,96	6,48	1,36	2,99	4,7	15,71	8,58	1,03	5,39	16,6	46,32	55,97	1,78	3,28	4,55	10,34	20,53
CV (%)	10,99	51,55	66,25	88,84	54,48	45,85	14,94	43,47	65,32	34,19	23,52	18,32	77,11	78,32	70,64	39,39	20,76	57,79	74,14	70,09	35,8	10,16	52,2	62,61	76,82

Tabela 9. Média de valores de peróxido de hidrogênio (PH) ($\mu\text{M H}_2\text{O}_2 \text{ g massa fresca}^{-1}$), peroxidação de lipídios (LIP) ($\text{MDA} \times 10^3, \text{ nmol g massa fresca}^{-1}$), superóxido dismutase (SOD $\times 10^{-3}, \text{ U mg}^{-1}$ de proteína), catalase (CAT, $\mu\text{Kat } \mu\text{g}^{-1}$ de proteína) e atividade da peroxidase (POD, $\mu\text{mol de purpurogalina min}^{-1} \text{ mg}^{-1}$ de proteína) em folhas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de ProCa e coletadas as 21, 42, 63, 84, 112 DAT.

EXPERIMENTO II (ProCa)																									
Tratamentos (concentrações)	21 DAT					42 DAT					63 DAT					84 DAT					112 DAT				
	PH	LIP	SOD	CAT	POD	PH	LIPO	SOD	CAT	POD	PH	LIP	SOD	CAT	POD	PH	LIP	SOD	CAT	POD	PH	LIP	SOD	CAT	POD
T1 - água	1,45	3,47	0,82	2,43	3,98	1,32	4,09	8,25	8,27	12,64	1,13	3,93	7,02	10,39	12,82	1,36	4,15	23,1	37,06	45,35	1,67	2,92	3,53	7,35	19,1
T2 – 500 mg i.a. L ⁻¹	1,09	2,12	1,11	0,39	4,32	0,58	4,19	19,81	10,56	11,48	0,81	2,78	5,18	17,55	9,8	0,83	5,25	13,26	40,67	50,71	4,83	4,16	2,28	8,58	18,99
T3 – 1000 mg i.a. L ⁻¹	1,8	2,17	1,32	0,47	5,57	0,47	4,01	17,21	8,34	27,6	0,32	2,91	8,89	20,82	11,03	0,5	4,93	20,71	38,77	29,46	1,36	3,14	3,06	7,77	19,42
T4 – 1500 mg i.a. L ⁻¹	1,91	2,19	1,32	0,79	5,26	0,39	3,94	23,9	37,33	29,34	0,26	2,73	7,38	12,39	9,04	0,65	4,84	20,28	43,49	50,76	2,13	2,7	2,41	10,28	26,7
T5 – 2000 mg i.a. L ⁻¹	1,55	2,37	1,61	2,32	5,31	0,33	3,91	33,6	35,81	51,41	0,14	2,14	16,46	30,72	38,09	0,39	3,95	17,66	24,2	35,19	1,76	3,58	1,05	8,63	26,65
CV (%)	17,47	51,48	47,59	61,43	29,19	35,99	10,81	32,42	50,6	36,27	53,03	32,25	46,07	89,28	21,63	28,62	13,3	19,65	47,66	54,68	63,55	24,5	71,46	64,4	52,6

4.5 Produção de frutos

No experimento I, para as aplicações de CCC, as variáveis número de frutos comerciais (NFC), número de frutos não-comerciais (NFNC), massa de frutos comerciais (MFC) e massa de frutos não-comerciais (MFNC) apresentaram dados que não se adequaram aos modelos estatísticos de regressão utilizados (Tabela 10).

Tais resultados demonstram que as concentrações empregadas não foram suficientes para impedir a formação de ent-caureno, na primeira fase da biossíntese de GA, assim, houve a formação do ent-caureno e deu-se continuidade no ciclo de biossíntese desse hormônio de modo a não interferir no potencial produtivo das plantas tratadas com CCC.

Tabela 10. Médias do número de frutos comerciais (NFC), número de frutos não-comerciais (NFNC), massa de frutos comerciais (MFC) e massa de frutos não-comerciais (MFNC) e produtividade de plantas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação de diferentes concentrações de CCC.

Tratamentos (concentrações de CCC)	NFC	NFNC	MFC (kg)	MFNC (kg)	Produtividade (t/ha)
T1 - água	96,4	3,8	20,28	0,45	107,97
T2 – 500 mg i.a. L ⁻¹	92,0	3,8	18,77	0,40	99,80
T3 – 1000 mg i.a. L ⁻¹	91,4	4,2	17,94	0,37	95,36
T4 – 1500 mg i.a. L ⁻¹	92,4	2,6	19,30	0,29	102,04
T5 – 2000 mg i.a. L ⁻¹	83,8	2,6	17,78	0,31	94,20
CV (%)	10,38	50,09	12,39	75,75	12,68

Já para o experimento II, as aplicações de ProCa resultaram na redução do NFC colhidos de forma inversamente proporcional ao aumento das concentrações utilizadas, assim, o tratamento controle apresentou melhor resultado para esta variável. Para a variável NFNC, os dados apresentaram-se de forma crescente, ou seja, houve aumento desta variável de acordo com o incremento das concentrações de ProCa aplicadas (Figura 10).

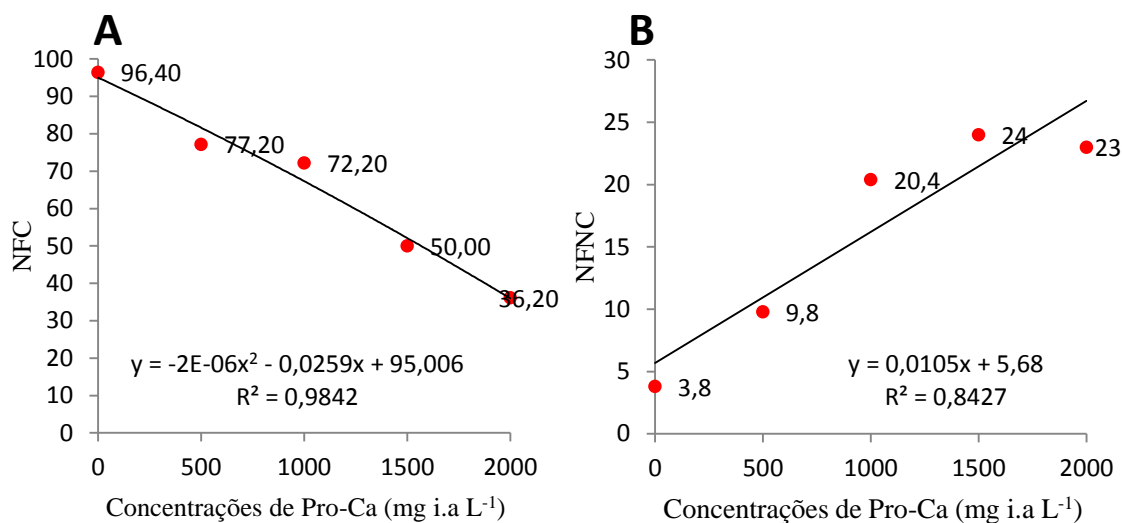


Figura 10. A - Número de frutos comerciais (NFC) e B - Número de frutos não-comerciais (NFNC) de tomateiro híbrido Santy® em função de diferentes concentrações de prohexadione-Ca (Pro-Ca) aplicadas via foliar.

Toda inibição da síntese de giberelina proveniente da aplicação do ProCa e a consequente redução de crescimento, se dá em decorrência da competição desse composto com os sítios ativos do ácido 2-oxoglutárico. Tal competição limita a ação da enzima 3 β -hidroxilase, o que resulta na redução da taxa de conversão da GA₂₀ (inativa) em GA₁ (ativa) (EVANS, 1999). Uma vez que a taxa de GA₁ é reduzida, efeitos fisiológicos que este hormônio vegetal naturalmente acarretaria são afetados, assim, há redução nas taxas de divisão celular e limitação da elasticidade e alongamento da parede celular.

A ação da giberelina principalmente nas células jovens (KERBAUY, 2004), confirma os resultados encontrados, demonstrando que o inibidor da biossíntese de giberelina não permitiu o desenvolvimento máximo do fruto através da limitação da divisão e expansão de suas células.

Estes resultados demonstram que a inibição da síntese de giberelina ocorreu de forma geral na planta, não interferindo somente no desenvolvimento vegetativo, mas também no desenvolvimento reprodutivo, não atingindo o objetivo proposto, pois houve influência negativa das concentrações aplicadas de ProCa no tamanho e qualidade dos frutos.

A redução das GAs nas plantas, resultando em frutos menores, corrobora com dados encontrados por Ayub e Rezende (2010) que, trabalhando também com tomateiro do segmento salada, demonstraram que o aumento de giberelina pela aplicação de ácido giberélico em concentrações crescentes de 30, 60, 90 e 120 mg

L⁻¹ promoveu aumento no tamanho dos frutos de forma proporcional ao incremento das concentrações do regulador vegetal aplicadas.

Ainda no experimento II, a aplicação de concentrações crescentes de ProCa promoveram redução dos valores encontrados para a variável MFC (Figura 11). Isso pode ser explicado pela proporção de NFC e NFNC no experimento, bem como, a limitação do crescimento de frutos pela ação inibitória do produto, tornando-os menores e, conseqüentemente, mais leves. Em tomates, o crescimento do fruto ocorre em duas fases, onde, a primeira fase consiste na divisão celular intensa, que ocorre de 7 a 10 dias após a antese e, posteriormente, o alongamento celular (GILLASPY et al., 1993). Tendo em vista que as aplicações foram realizadas a cada 10 dias e que o período de ação do produto na planta é superior a este intervalo, houve interferência direta na divisão celular dos frutos e no seu desenvolvimento.

O aumento da MFNC de acordo com o incremento das concentrações de ProCa aplicadas, possivelmente ocorreu, devido as classe dos frutos não comerciais serem compostas de frutos pequenos e também deformados. Os tratamentos com concentrações superiores de ProCa apresentaram maior número de frutos deformados enquadrados como não comerciais, de diversos tamanhos. Os tratamentos compostos por concentrações inferiores, além do controle, apresentaram maior número de frutos menores enquadrados como não comerciais, apresentando menor taxa de deformações, resultando na redução da massa desses frutos (Figura 11).

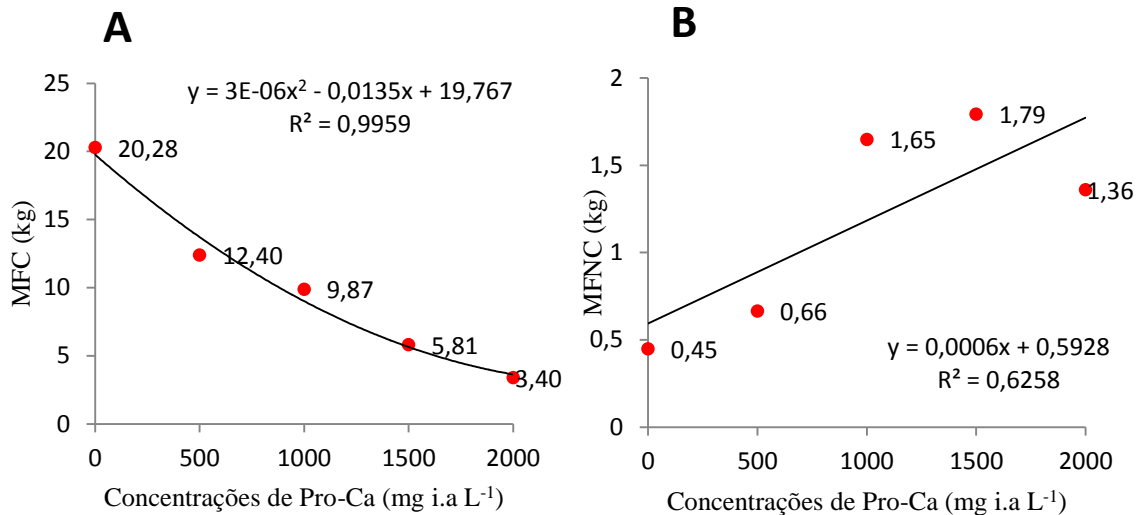


Figura 11. A - Massa de frutos comerciais (MFC) e B - Massa de frutos não-comerciais (MFNC) de tomateiro híbrido Santy® em função da aplicação foliar de diferentes concentrações de prohexadione-Ca (Pro-Ca).

Altintas (2011) encontrou resultados similares, no qual a aplicação de somente 100 mg L⁻¹ ProCa apenas uma vez já resultou na diminuição do tamanho e massa de frutos, bem como Ayub e Rezende (2010), que observaram crescente aumento da massa de frutos em decorrência do crescente aumento da concentração de GA₃ aplicadas.

Não houve diferença estatística entre os tratamentos para a variável produtividade no experimento I, de maneira que os dados não se adequaram a nenhum dos modelos estatísticos de regressão utilizados, corroborando com Altintas (2011), que também não observou incremento ou decréscimo no número de frutos do tomateiro, bem como na massa de frutos. As concentrações de CCC aplicadas podem não ter sido suficientes para inibir a ação do copalil difosfato e conseqüentemente houve a síntese de ent-caureno, dando continuidade à síntese de GAs, não alterando a fisiologia das plantas suficientemente para interferir na produtividade. Em contrapartida, no experimento II, as aplicações de ProCa reduziram significativamente esta variável em função das concentrações aplicadas (Figura 12).

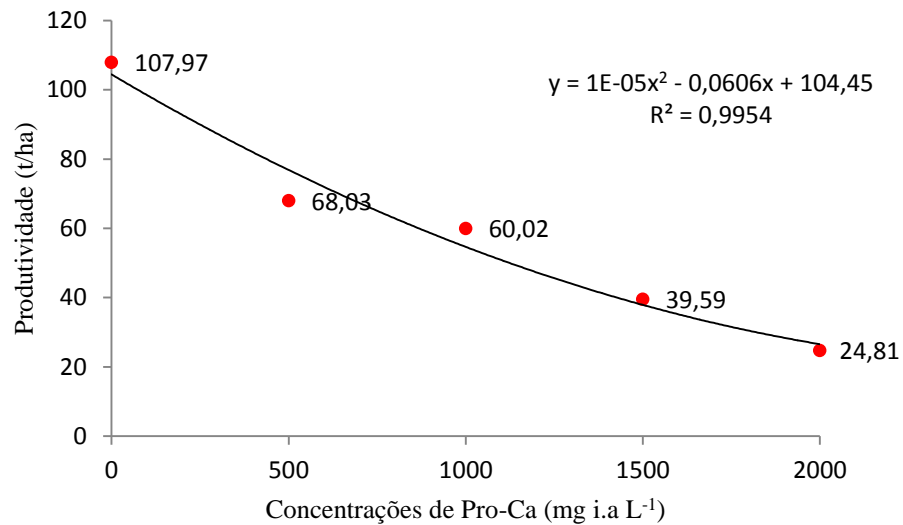


Figura 12. Produtividade média de frutos (kg/ha) de tomateiro híbrido Santy® em função de diferentes concentrações de prohexadione-Ca Pro-Ca aplicadas via foliar.

A redução da produtividade no experimento II pode ser atribuída aos dados encontrados para as variáveis anteriormente discutidas NFC e MFC, os quais apresentaram comportamento similar e decresceram em função do aumento das concentrações, refletindo na produtividade final. Este resultado conflita com outros trabalhos já realizados. Ramírez et al. (2012) reportaram incremento na produtividade do tomateiro submetido à aplicação de ProCa, porém, com concentrações de 125, 175 e 200 mg L⁻¹ e com apenas uma aplicação, bem como com Martins et al. (1997), que observaram aumento no número e massa de frutos por planta com a aplicação de 1500 mg L⁻¹ de CCC.

Os dados de classificação de frutos segundo as Normas de Classificação do Tomate (CQH/CEAGESP, 2003), demonstram que não houve diferença estatística para o experimento I, de modo que as aplicações das diferentes concentrações de CCC não interferiram na síntese de giberelina, não resultando em alterações no tamanho dos frutos (Tabela 11).

Tabela 11. Porcentagem de frutos do tomateiro híbrido Santy® submetidos a diferentes concentrações de CCC, segundo as Normas de Classificação do Tomate (CQH/CEAGESP, 2003).

Tratamentos (concentrações de CCC)	Classe de frutos (mm)				
	40	50	60	70	80
T1 - água	2,9 a	8,4 a	27,4 a	45,1 a	16,2 a
T2 – 500 mg i.a. L ⁻¹	2,4 a	10,9 a	23,9 a	44,1 a	18,7 a
T3 – 1000 mg i.a. L ⁻¹	2,6 a	11,6 a	26,2 a	45,1 a	14,5 a
T4 – 1500 mg i.a. L ⁻¹	2,4 a	7,0 a	25,0 a	43,1 a	22,5 a
T5 – 2000 mg i.a. L ⁻¹	1,6 a	7,5 a	26,0 a	46,5 a	18,4 a
CV (%)	44,02	23,85	15,91	8,63	23,74
p-valor	0,677 ^{ns}	0,207 ^{ns}	0,914 ^{ns}	0,927 ^{ns}	0,681 ^{ns}

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem, significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ns= não significativo *= significativo a 5% de probabilidade

Para o experimento II, conforme o aumento das concentrações de ProCa aplicadas sobre a cultura, houve aumento da porcentagem de frutos de calibre menor e conseqüentemente, redução da porcentagem de frutos de calibre maior. Isso comprova que as aplicações de ProCa inibiram a síntese de GAs mais bioativas, resultando na menor ação destas nos frutos, diminuindo seu tamanho (Tabela 12).

Tabela 12. Porcentagem de frutos do tomateiro híbrido Santy® submetidos a diferentes concentrações de prohexadione-Ca (ProCa), segundo as Normas de Classificação do Tomate (CQH/CEAGESP, 2003).

Tratamentos (concentrações de ProCa)	Classe de frutos (mm)				
	40	50	60	70	80
T1 - água	2,91 c	8,38 c	27,36 ab	45,10 a	16,23 a
T2 – 500 mg i.a. L ⁻¹	6,31 bc	22,09 bc	32,93 a	33,47 ab	5,18 b
T3 – 1000 mg i.a. L ⁻¹	9,05 bc	30,58 bc	37,21 a	20,64 bc	2,49 bc
T4 – 1500 mg i.a. L ⁻¹	21,47 ab	32,93 b	33,40 a	11,05 cd	1,132 c
T5 – 2000 mg i.a. L ⁻¹	34,23 a	40,81 a	18,83 b	6,11 d	0 c
CV (%)	28,49	18,73	11,63	18,74	44,72
p-valor	0,000*	0,000*	0,000*	0,001*	0,000*

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem, significativamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade. ns= não significativo *= significativo a 5% de probabilidade.

4.6 Atributos físico-químicos

Para as variáveis teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e relação SS/AT (*ratio*) não houve adequação dos dados aos modelos de regressão utilizados para ambos os experimentos (Tabela 13). A variável pH adequou-se similarmente ao modelo de regressão linear crescente em ambos os experimentos (Figura 13).

Tabela 13. Média do teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e relação SS/AT de frutos de plantas de tomateiro híbrido Santy® submetidas à aplicação foliar de diferentes concentrações de CCC e ProCa.

Tratamentos (concentrações)	Experimento I (CCC)			Experimento II (ProCa)		
	SS (°Brix)	AT (% ac cítrico 100 g ⁻¹ polpa)	Ratio	SS (°Brix)	AT (% ac cítrico 100 g ⁻¹ polpa)	Ratio
T1 - água	4,00	0,294	1,74	4,00	0,294	1,74
T2 – 500 mg i.a. L ⁻¹	4,00	0,275	1,85	3,83	0,277	1,78
T3 – 1000 mg i.a. L ⁻¹	3,96	0,304	1,58	4,00	0,320	1,69
T4 – 1500 mg i.a. L ⁻¹	4,03	0,310	1,71	4,00	0,302	1,65
T5 – 2000 mg i.a. L ⁻¹	3,80	0,297	1,62	4,00	0,300	1,72
CV (%)	5,70	9,82	12,79	3,67	6,79	6,84

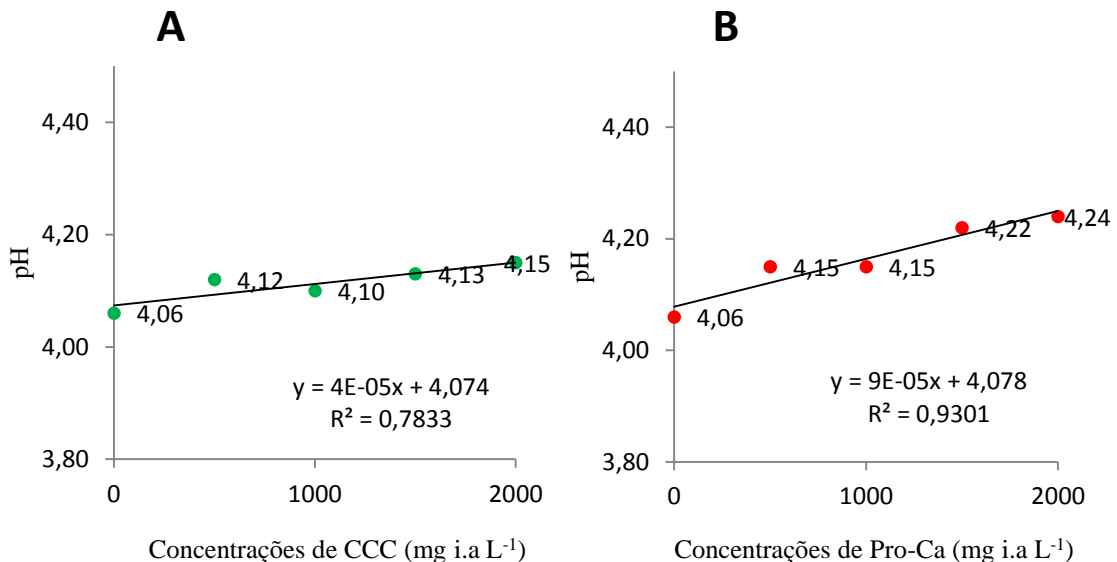


Figura 13. Teor de pH de frutos de tomateiro híbrido Santy® em função da aplicação de diferentes concentrações de CCC (A) e Pro-Ca (B).

A disposição crescente dos dados de pH em função das concentrações possivelmente é em decorrência do tamanho de frutos. O tomateiro possui a característica genética como determinante principal para o teor de ácidos nos frutos (MAHAKUN et al., 1979), assim, os frutos tendem a possuir a mesma quantidade de solutos em seu interior, porém frutos menores possuem menor quantidade de água, tornando seu conteúdo mais concentrado, refletindo no aumento do pH.

5 CONCLUSÃO

Para o experimento I, as aplicações de diferentes concentrações de CCC não influenciaram no crescimento vegetativo e desenvolvimento de frutos do tomateiro Santy®.

Para o experimento II, as aplicações de diferentes concentrações de Prohexadione-Ca inibiram a biossíntese de giberelina e desencadearam alterações fisiológicas que reduziram o crescimento vegetativo e influenciaram negativamente no desenvolvimento de frutos.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, P.; SARWAT, M.; SHARMA, S. Reactive oxygen species, antioxidants and signaling in plants. **Journal of Plant Biology**, v.51, p.167- 173, 2008.
- ALEXIAVA, V.; SERGIEV, I.; MAPELLI, S.; KARANOV, E. The effect of drought and ultraviolet radiation on growth and stress markers in pea and wheat. **Plant, Cell and Environment**, v.24, p.1337–1344, 2001.
- ALTINTAS, S. Effects of prohexadione-calcium with three rates of phosphorus and chlormequat chloride on vegetative and generative growth of tomato. **African Journal of Biotechnology**, v.10, p.17142-17151, 2011.
- ALVARENGA, M. A. R. **Tomate: produção em campo, em casa de vegetação e em hidroponia**. 4 ed. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2004. 393 p.
- ANOSHEH, H. P. Exogenous application of salicylic acid and chlormequat chloride alleviates negative effects of drought stress in wheat. **Advanced Studies in Biology**. v. 4. p.501–520. 2012.
- ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA AGRIANUAL - **AGRIANUAL**. Campo Grande: FNP Consultoria e Comércio, 2017.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the association of official analytical chemistry**. 18.ed. Washington, 2005. 1015p.
- AYUB, R. A.; REZENDE, B. L. A. Contribuição do ácido giberélico no tamanho de frutos do tomateiro. **Revista Biotemas**, v.23, p.25-28, 2010.
- BAKER, B. Chlorophyll Fluorescence: A Probe of Photosynthesis In Vivo. **Annual Review of Plant Biology**, v.59, p.89-113, 2008.
- BAKER, N. R.; ROSENQVIST, E. Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. **Journal of Experimental Botany**, v.55, p.1607-1621, 2004.
- BARBOSA, M. R.; SILVA, M. M. A.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, v.44, p.453-460, 2014.
- BARCELO, A. R.; PEDRENO, A; MUNOZ, R; SABATER, F. Physiological significance of the binding of acidic isoperoxidases to cell walls of lupin. **Physiologia Plantarum**, v.75: p.267-274, 1989.
- BHATTACHARJEE, S. Sites of generation and physicochemical basis of formation of reactive oxygen species in plant cell. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p.1-30.

BJÖRKMAN, O.; DEMMIG, B. Photon yield of O₂ evolution and chlorophyll fluorescence characteristics at 77K among vascular plants of diverse origins. **Planta**, v.170, p.504–589, 1987.

BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, v. 72, p. 248-254, 1976.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de vigilância Sanitária. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Brasília, 2005. 1018p.

BROWN, R. G. S.; KAWAIDE, H.; YANG, Y. Y.; RADEMACHER, W.; KAMIYA, Y. Daminozide and prohexadione have similar modes of action as inhibitors of the late stages of gibberellin metabolism. **Physiologia Plantarum**, v.101, p.309-313, 1997.

CARRA, B.; SPAGNOL, D.; ABREU, E. S.; PASA, M. S.; SILVA, C. P.; HELLWIG, C. G.; FACHINELLO, J. C. Prohexadione calcium reduces vegetative growth and increases fruit set of 'Smith' pear trees. **Bragantia**, Campinas, v. 76, p.360-371. 2017.

CARVALHO, J. R. ; PAGLIUCA, L. G. Tomate, um mercado que não pára de crescer globalmente. **Revista Hortifruti Brasil**, Piracicaba, n. 58, p. 6, 2007.

CARVALHO, L. H.; CHIAVEGATO, E. J.; CIA, E.; KONDO, J. I.; SABINO, J. C.; JÚNIOR, A. P.; NELSON BORTOLETTO, N.; GALLO, P. B. Fitorreguladores de crescimento e capação na cultura algodoeira. **Bragantia**, campinas, v.53. p. 247 – 254, 1994.

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

CQH/CEAGESP. Programa Brasileiro para Modernização da Horticultura. **Normas Técnicas de Classificação do tomate**. Centro de qualidade em Horticultura (CQH. Documentos, 26). São Paulo. 2003.

ESPINDULA, M. C.; ROCHA, V. S.; SOUZA, L. T.; SOUZA, M. A.; GROSSI, J. A. S. Efeitos de reguladores de crescimento na alongação do colmo de trigo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v.32, p. 09-116, 2010.

EVANS, J. R.; EVANS, R. R.; REGUSCI, C. L.; RADEMACHER, W. Mode of Action, Metabolism, and Uptake of BAS 125W, Prohexadione-calcium. **Hortscience**, vol. 34, p.1200-1201, 1999.

FAGAN, E. B.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D.; CHALFUN JÚNIOR, A.; DOURADO NETO, D. **Fisiologia vegetal: Reguladores Vegetais**. Primeira edição. São Paulo: Andrei, 2015. p. 300.

FARRAG, G. M. S. **Physiological response of tomato plant to some growth regulating substances**. 1971. 162 p. Dissertação (Science in Plant Physiology) – Faculty of Agriculture, Ain Shams University, Cairo, Egito.

FAYAD, J. A.; FONTES, P. C. R.; CARDOSO, A. A.; FINGER, L. F.; FERREIRA, F. A. Crescimento e produção do tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura brasileira**, Brasília, v. 19, p. 232-237. 2001.

FOYER, C.H.; NEUKERMANS, J.; QUEVAL, G.; NOCTOR, G.; HARBINSON, J. Photosynthetic control of electron transport and the regulation of gene expression. **Journal of Experimental Botany**, v.63, p.1637-1661, 2012.

FRIDOVICH, I. Fundamental aspects of reactive oxygen species, or what's the matter with oxygen? **Annals of the New York Academy of Sciences**, v.893, p.13-18, 1999.

GIANNAKOULA, A., ILIAS, I. Chlorophyll Fluorescence and Photosystem II Activity of Tomato Leaves as Affected by Irradiance and Prohexadione-Calcium. **Proceedings of the WSEAS International Conference on Renewable Energy Sources**, Arcachon, France, October 14-16, 2007.

GIANNOPOLITIS, C. N; REIS, S. K. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v.59, p.309-314, 1997.

GIL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.48, p.909-930, 2010.

GILLASPY, G.; BEN-DAVID, H.; GRUISSEM, W. Fruits: a developmental perspective. **Plant Cell**. v.5. p. 1439–1451.1993.

GUAK, S.; NEILSEN, D.; LOONEY, N. E. Growth, allocation of N and carbohydrates, and stomatal conductance of greenhouse grown apple treated with prohexadione-Ca and gibberellins. **Journal Horticultural Science Biotechnology**, v.76, p.746-752. 2001.

GUTTERIDGE, J.M.; HALLIWELL, B. Free radicals and antioxidants in the year. A historical look to the future. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v.899, p.136-147, 2000.

HEATH, R. L.; PACKER, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. **Archives of Biochemistry and Biophysics**, v.125, p.189-198, 1968.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE.

Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Rio de Janeiro v.30 n.7 p.1-83. 2017.

KAR, M.; MISHRA, D. Catalase, Peroxidase, and Polyphenoloxidase Activities during Rice Leaf Senescence. **Plant Physiology**, v. 57, p. 315-319, 1976.

KERBAUY, G. B. 2004. **Fisiologia vegetal**. 1 ed. Guanabara Koogan: Rio de Janeiro, Brasil, 452p.

KOVALCHUK, I. Multiple roles of radicals in plants. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2010. p.31-44.

LINDLEY, C. D. A Review of Some Practical Uses of Cycocel Plant Growth Regulant. **Pest Articles & News Summaries**, v.19, p.87-92, 1973.

LOPES, W. A. R. **Análise do crescimento de tomate 'sm-16' cultivado sob diferentes coberturas de solo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia: fitotecnia). Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró. 92 p. 2010.

LOVATO, A.; VENTURI, G.; GRANDI, P. Effetti dei trattamenti con CCC al pomodoro. **Rivista di agronomia**, v.4, p.232-241, 1970.

MA, B. L.; SMITH, D. L. Chlormequat and Ethrel timing and grain production of spring barley. **Agronomy Journal**, v. 84, p. 934-939, 1992.

MACEDO, A. C. **Fungicidas de efeitos fisiológicos no metabolismo e desenvolvimento de plantas de melão rendilhado sob cultivo protegido**. 2015. 88 p. Tese (Doutorado em Agronomia – Horticultura). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu.

MAHAKUN, N.; LEEPER, P. W.; BURNS, E. E. Acidic constituents of various tomato fruit types. **Journal of Food Science**, v.44, p.1.241-1.244. 1979.

MARTINS, M. B. G.; CASTRO, P. R. C. Biorreguladores na morfologia e na produtividade de frutos de tomateiro cultivar “Ângela Gigante”. **Bragantia**, v. 56, p.237-248, 1997.

MAXWELL, K.; JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, p. 659-668, 2000.

MOUCO, M. A. C.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Inibidores de síntese de giberelinas e crescimento de mudas de mangueira 'Tommy Atkins'. **Ciência Rural**, v.40, p.273-279, 2010.

MYLONA, P.V.; POLIDOROS, A.N. ROS regulation of antioxidant genes. In: GUPTA, S.D. **Reactive oxygen species and antioxidants in higher plants**. Enfield: Science Publishers, 2011. Cap.6, p.101-128.

OLIVEIRA, A.; FERREIRA, G.; RODRIGUES, J. D.; FERRARI, T. B.; KUNZ, V. L.; PRIMO, M. A.; POLETTI, L. D. Efeito de reguladores vegetais no desenvolvimento de mudas de *Passiflora alata* 'curtis'. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticabal - SP, v. 27, p. 9-13, 2005.

- OLSEN, W. W.; ANDERSEN, A. S. The influence of five growth retardants on growth and postproduction qualities of *Osteospermum ecklonis* cv. "Calypso". **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.62, p.263-270. 1995.
- OWENS, C.L., STOVER, E. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione-calcium. **Horticultural Science**, v.34, p.1194–1196, 1999.
- OZBAY, N.; ERGUN, N. Prohexadione calcium on the growth and quality of eggplant seedlings **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.50, p.932-938. 2015.
- PEIXOTO, H. P. P.; CAMBRAIA, J.; SANT'ANNA, R.; MOSQUIM, P. R.; MOREIRA, M. A. Aluminium effects on lipid peroxidation and the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.11, p. 137-143, 1999.
- PIMENTA-LANGE, M. J.; LANGE, T. Gibberellin biosynthesis and the regulation of plant development. **Plant Biology**, v.8, p.281–290, 2006.
- RADEMACHER, W. GROWTH RETARDANTS: Effects on Gibberellin Biosynthesis and Other Metabolic Pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.51, p.501–31, 2000.
- RADEMACHER, W.; SPINELLI, F.; COSTA, G. PROHEXADIONE-CA: MODES OF ACTION OF A MULTIFUNCTIONAL PLANT BIOREGULATOR FOR FRUIT TREES. **Acta Horticulturae**. 727, 97-106, 2006.
- RAMA DEVI, S.; PRASAD, M. N. V. Copper toxicity in *Ceratophyllum demersum* L. (Coontail), a free floating macrophyte: Response of antioxidant enzymes and antioxidants. **Plant Science**, v. 138, p. 157-165, 1998.
- RAMÍREZ, H.; HERRERA-GÁMEZ, B.; MÉNDEZ-QUIROA, Y. H.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; DE LA CRUZ-BRETON, J. A.; ÁLVAREZ-MARES, V.; RANCAÑO-ARRIOJA, J. H.; VILLAREAL-QUINTANILLA, J. A. Prohexadione de calcio disminuye el contenido de giberelinas endógenas en ápices de tomate saladette y chile pimiento. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, v. 14, p.193-198, 2008.
- RAMÍREZ, H.; LEZA, P. C.; RIVERA, C. E.; AMADO, C.; BENAVIDES, A.; HERRERA, B.; MARTÍNEZ, A.; MÉNDEZ, O. Prohexadione-ca reduces plant height, improves yield and fruit quality on solanaceous crops. **Acta Horticulturae**, v.936, p.457-461, 2012.
- REEKIE, J. Y.; HICKLENTON, P. R.; STRUI, P. C. K. Prohexadione-calcium modifies growth and increases photosynthesis in strawberry nursery plants. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 95: 571-578. 2015.
- RESENDE, M. L. V.; SALGADO, S. M. L.; CHAVES, Z. M. Espécies Ativas de Oxigênio na Resposta de Defesa de Plantas a Patógenos. **Fitopatologia brasileira**, v.28, p.123-130, 2003.

RICHARDS, D. E.; KING, K. E.; AIT-ALI, T.; HARBERD, N. P. How gibberellin regulates plant growth and development: A molecular genetic analysis of gibberellin signaling. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v.52, p.67-88, 2001.

RICK, C.M. The tomato. **Scientific American**, v.239, p.76- 87, 1978.

RODRIGUES, G. S O. **Crescimento de tomate 'Mariana' em função dos diferentes tipos de cobertura do solo**. 2010. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Fitotecnia). Universidade Federal Rural do Semiárido. Mossoró, 53 p. 2010.

SCANDALIOS, J. G. Oxidative stress: molecular perception and transduction of signals triggering antioxidant gene defenses. **Brazilian Journal of Medical and Biological Research**, v. 38, p. 995-1014, 2005.

SCHREIBER, U. Detection of rapid induction kinetics with a new type of high-frequency modulated chlorophyll fluorometer. **Photosynthesis Research**, v.9, p.261–272, 1986.

SINNADURAI, S.; AMUTI, K. Effect of CCC on tomato cultivars in Ghana. **Ghana Journal of Agricultural Science**, v.4, p.65-69, 1971.

SORG, O. Oxidative stress: a theoretical model or a biological reality? **Comptes Rendus Biologies**, v. 327, p. 649-662, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TEISSEIRE, H.; GUY, V. Copper-induced changes in antioxidant enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*). **Plant Science**, v. 153, p. 65–72, 2000.

TRESSLER, D. K., JOSLYN, M. A. **Fruits and vegetables juice processing technology**. Westport: AVI, 1961. 1028p.

VALKO, M; LEIBFRITZ, D; MONCOL, J; CRONIN, MT; MAZUR, M; TELSER. J. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. **The International Journal of Biochemistry & Cell Biology**, v.39, p.44-84, 2007.

VON CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G. D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. **Planta**, v.153: 376-387, 1981.

WANG, H.; XIAO, L.; TONG, J.; LIU, F. Foliar Application of Chlorocholine Chloride Improves Leaf Mineral Nutrition, Antioxidant Enzyme Activity, and Tuber Yield of Potato (*Solanum Tuberosum L.*), **Scientia Horticulturae**, v.125, p.521-23, 2010.

ZEMRI, K.; AMAR, Y.; BOUTIBA, Z.; ZEMRI, M.; POPOVIC, R. Use of chlorophyll fluorescence to evaluate the effect of chromium on activity photosystem ii at the alga *scenedesmus obliquus*. **International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences**, v.12, p.304-314, 2012.