

FABRÍCIO PALLA TEIXEIRA

**PROHEXADIONA CÁLCICA NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS E
PLANTAS DE TOMATEIRO**

Botucatu

2020

FABRÍCIO PALLA TEIXEIRA

**PROHEXADIONA CÁLCICA NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS E
PLANTAS DE TOMATEIRO**

Tese de Doutorado, do Programa de Pós-Graduação em Horticultura, apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Horticultura).

Orientador(a): Prof^a Dr^a Elizabeth Orika Ono

Botucatu

2020

T266p

Teixeira, Fabrício Palla

Prohexadiona cálcica no desenvolvimento de mudas e plantas de tomateiro / Fabrício Palla Teixeira. -- Botucatu, 2020
71 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientadora: Elizabeth Orika Ono

1. Agronomia. 2. Fisiologia vegetal. 3. Hormônios vegetais. 4.
Tomate. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: PROHEXADIONA CÁLCICA NO DESENVOLVIMENTO DE MUDAS E PLANTAS DE TOMATEIRO

AUTOR: FABRÍCIO PALLA TEIXEIRA

ORIENTADORA: ELIZABETH ORIKA ONO

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

Prof.ª Dr.ª ELIZABETH ORIKA ONO (Participação Virtual)
Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. JOÃO DOMINGOS RODRIGUES (Participação Virtual)
Botânica / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. ADALTON MAZETTI FERNANDES (Participação Virtual)
Centro de Raízes e Amidos Tropicais / Universidade Estadual Paulista - UNESP



Prof. Dr. LUIZ FERNANDO ROLIM DE ALMEIDA (Participação Virtual)
Bioestatística, Biologia Vegetal, Parasitologia e Zoologia / Instituto de Biociências de Botucatu - UNESP



Prof. Dr. ANDRÉ NARVAES DA ROCHA CAMPOS (Participação Virtual)
Dept. Acadêmico de Agricultura e Ambiente / IF Sudeste MG / Campus Rio Pomba



Botucatu, 22 de outubro de 2020

Dedico

*Aos meus queridos e amados pais,
Cláudia e José Maria, in memoriam*

AGRADECIMENTOS

Aos meus queridos pais, José Maria (*in memoriam*) e Cláudia (*in memoriam*), pelo amor e plena dedicação em minha caminhada.

Ao meu irmão, Guilherme, pelo exemplo de perseverança, conduta e amizade.

À Tainá, pelo carinho, afeto, apoio e companheirismo sempre presente.

À Prof^a Elizabeth, pela orientação durante o curso, confiança e liberdade para que pudesse desenvolver o trabalho.

Ao Prof. João Domingos, pela coorientação, de grande importância para o nascimento deste trabalho, pelos ensinamentos e sua sempre gentil disponibilidade.

Aos grandes amigos que passaram pela república, Rafaelly, Nathália, Joara, Ruan e Jorgiani, pela amizade e pelo clima familiar que sempre reinou em nosso convívio.

À Nathália Ribeiro, Raíra, Luiza, Rudieli, Renan Lanna, Guilherme, Renan Lima, Túlio, Patrícia, Rafael Bibiano, Lucas Ferenzini, Sthefani, Ricardo Tarja, Ricardo Felito, Isabella, e tantos outros que desde o início se tornaram grandes amigos.

Ao Andrew Kim, pelos ensinamentos que envolveram o uso do aparelho IRGA, sempre paciente e auxílio nos experimentos em campo. Além da valiosa amizade.

Ao Eduardo, pelo auxílio nos experimentos em campo e pela amizade.

Ao Prof. Antônio Ismael, pela disponibilidade de discussão de ideias iniciais e pelos ensinamentos nas disciplinas ministradas.

Aos Professores(as) com quem tive a oportunidade de cursar as disciplinas que tanto contribuíram em minha formação técnica, Elizabeth, João Domingos, Antônio Ismael, Filipe, Giuseppina, Lin, e outros em convite.

Ao Prof. Filipe, pela oportunidade em ministrar aulas na graduação e convite para participação em eventos.

Ao Prof. Adalton, na disponibilidade de aquisição do regulador vegetal utilizado nos experimentos.

Ao Doutorando Luan, pela gentileza em contribuir na aquisição do regulador vegetal e conselhos sobre a utilização do mesmo.

Aos amigos servidores do Departamento, Edivaldo e Eduardo, pelo trabalho e apoio às atividades de ensino e pesquisa.

A simpática e prestativa Sandra, pelo zelo em manter as dependências do departamento sempre limpas e organizadas.

Aos motoristas, em especial, ao Heleno, Sérgio e Carlos, que semanalmente conduziam, eu e tantos outros estudantes, até São Manuel e, em muitos momentos, fazendo além do que eram suas obrigações.

Aos servidores da Fazenda Lageado e, em especial, aos da Fazenda Experimental de São Manuel, nas pessoas do Nilton, Daniel e Rocha pelo apoio e prontidão nas atividades experimentais.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas, ao Departamento de Produção Vegetal e todos os demais servidores e funcionários pelo apoio nas atividades de ensino e pesquisa.

À empresa Sakata Seeds Sudamerica, na pessoa do Rômulo, pela doação das sementes utilizadas nos experimentos.

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

Ao povo brasileiro, financiadores de um ensino público e de qualidade.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes concentrações de prohexadiona cálcica – (ProCa) no controle do crescimento de mudas de tomateiro, e seus possíveis efeitos nas plantas, após o transplante e na produção e qualidade de frutos. O trabalho foi dividido em dois capítulos. O capítulo I teve o objetivo de investigar as respostas das mudas de tomateiro tratadas com diferentes concentrações de ProCa. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos: 0, 50, 100, 200 e 400 mg de ProCa L⁻¹, com quatro repetições de 30 mudas cada. Os tratamentos foram aplicados com pulverizador manual de CO₂, quando as mudas completaram 20 dias após a semeadura. Dez dias após a aplicação dos tratamentos foram avaliados: comprimento do caule, número de folhas, comprimento e largura de folhas, índice SPAD, trocas gasosas, fluorescência da clorofila *a* e análises bioquímicas, relacionadas ao estresse oxidativo. Pelos resultados obtidos neste capítulo foi possível concluir que as concentrações de ProCa inibiram o crescimento das mudas, não comprometendo seu aparato fotossintético. As mudas tratadas com ProCa apresentaram maiores taxas de peroxidação lipídica e de atividade das enzimas superóxido dismutase, catalase e peroxidase. Entretanto, a ativação do sistema antioxidante contribuiu para que as mudas se desenvolvessem satisfatoriamente. No capítulo II, o experimento foi dividido em duas etapas. Na primeira, o delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos: 0, 50, 100, 200 e 400 mg de ProCa L⁻¹, com quatro repetições de 30 mudas cada. Os tratamentos foram aplicados com pulverizador manual de CO₂ quando as mudas completaram 20 dias após a semeadura. Dez dias após a aplicação dos tratamentos, foram avaliados: altura da parte aérea, diâmetro do caule, massa fresca e seca da parte aérea e de raiz. Para a etapa II, as concentrações de 200 e 400 mg de ProCa foram selecionadas por proporcionarem maior redução no crescimento das mudas e, juntamente com uma testemunha, foram transplantadas para o campo. O arranjo experimental foi em blocos casualizados, com total de 120 plantas avaliadas, onde se avaliou em períodos diferentes: a altura das plantas, o número de folhas, o diâmetro do coleto e os dias até a antese. Também foram realizadas avaliações de fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas, análises bioquímicas de estresse oxidativo, de produção e de qualidade de frutos. Para a etapa I foi possível

observar que as concentrações de ProCa reduziram o crescimento das mudas de tomateiro, não afetando apenas o comprimento de raiz. Na etapa II, as concentrações de ProCa não influenciaram as variáveis de crescimento e os dias até a antese das plantas. Também não houve efeito significativo nos parâmetros fisiológicos de fluorescência da clorofila *a* e de trocas gasosas. Entretanto, após o transplante, as plantas em campo passaram por estresse. Todavia, a produção e os aspectos de qualidade investigados não foram afetados pelo regulador vegetal. Pelos resultados deste trabalho, é possível concluir que o ProCa é um eficiente regulador vegetal no controle do crescimento das mudas, com baixa persistência nas plantas, não comprometendo a fenologia das plantas após o transplante, a produção e a qualidade dos frutos, podendo ser uma alternativa viável para viveiristas e produtores.

Palavras-chave: Fenologia. Fisiologia vegetal. Reguladores vegetais. *Solanum lycopersicum* L.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effects of different concentrations of calcium prohexadione - (ProCa) on the growth control of tomato seedlings, and their possible effects on plants, after transplantation and on fruit production and quality. The work was divided into two chapters. Chapter I aimed to investigate the responses of tomato seedlings treated with different concentrations of ProCa. The experimental design was completely randomized, composed of five treatments: 0, 50, 100, 200 and 400 mg of ProCa L⁻¹, with four replications of 30 seedlings each. The treatments were applied with a manual CO₂ sprayer, when the seedlings completed 20 days after sowing. Ten days after the treatments were applied: stem length, number of leaves, leaf length and width, SPAD index, gas exchange, chlorophyll a fluorescence and biochemical analyzes, related to oxidative stress. From the results obtained in this chapter it was possible to conclude that the concentrations of ProCa inhibited the growth of the seedlings, without compromising their photosynthetic apparatus. The seedlings treated with ProCa showed higher rates of lipid peroxidation and activity of the enzymes superoxide dismutase, catalase and peroxidase. However, the activation of the antioxidant system contributed for the seedlings to develop satisfactorily. In chapter II, the experiment was divided into two. In stage I, the experimental design was completely randomized, composed of five treatments: 0, 50, 100, 200 and 400 mg of ProCa L⁻¹, with four replications of 30 seedlings each. The treatments were applied with a manual CO₂ sprayer when the seedlings completed 20 days after sowing. Ten days after the application of treatments, the following were evaluated: height of the aerial part, diameter of the stem, fresh and dry mass of the aerial part and root. For stage II, concentrations of 200 and 400 mg of ProCa were selected as they provide greater reduction in seedling growth and, together with a control, were transplanted to the field. The experimental arrangement was in randomized blocks, with a total of 120 plants evaluated, where it was evaluated in different periods: the height of the plants, the number of leaves, the diameter of the collection and the days until anthesis. Chlorophyll a fluorescence assessment, gas exchanges, biochemical analyzes of oxidative stress, production and fruit quality were also carried out. For stage I it was possible to observe that the concentrations of ProCa reduced the growth of tomato seedlings, not only affecting the root length. In stage II, the concentrations of ProCa did not influence the growth variables and the days until the anthesis of the plants.

There was also no significant effect on the physiological parameters of chlorophyll a fluorescence and gas exchange. However, after transplantation, the plants in the field experienced stress. However, the production and quality aspects investigated were not affected by the plant growth regulator. From the results of this work, it is possible to conclude that ProCa is an efficient plant growth regulator in controlling the growth of seedlings, with low resistance to plants, without compromising the phenology of plants after transplantation, production and fruit quality, and can be a viable alternative for nurseries and producers.

Key words: Phenology. Plant physiology. Plant growth regulator. *Solanum lycopersicum* L

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	15
CAPÍTULO 1 - ASPECTOS FISIOLÓGICOS E BIOQUÍMICOS DE MUDAS DE TOMATEIRO TRATADAS COM PROHEXADIONA CÁLCICA	23
1.1 INTRODUÇÃO.....	24
1.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	26
1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	28
1.4 CONCLUSÕES.....	34
1.5 AGRADECIMENTOS.....	35
1.6 LITERATURA CITADA.....	36
CAPÍTULO 2 - PROHEXADIONA CÁLCICA NO DESEMPENHO DE MUDAS E PLANTAS DE TOMATEIRO: CRESCIMENTO, FENOLOGIA, FISIOLOGIA, PRODUÇÃO E QUALIDADE DE FRUTO	40
2.1 INTRODUÇÃO.....	42
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
2.4 CONCLUSÕES.....	58
2.5 AGRADECIMENTOS.....	59
2.6 LITERATURA CITADA.....	60
CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	65

INTRODUÇÃO GERAL

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) pertence à família Solanaceae e tem seu centro de origem na região andina, abrangendo Equador, Peru, Colômbia, Bolívia e norte do Chile (RICK, 1982). Apesar de ser uma planta perene, em todo o mundo é cultivada como anual (PEIXOTO et al., 2017).

O cultivo do tomateiro se desenvolve satisfatoriamente em regiões de clima tropical de altitude, subtropical e temperado, sendo produzido em diversos países. No cenário global, é a principal hortaliça em volume consumida *in natura* (HACHMANN et al., 2014). A produção mundial atingiu 180.301,395 toneladas em 2017, sendo a China o maior produtor com uma fatia de 32,64% da produção mundial, seguida pela Índia, Turquia, Estados Unidos, Egito, Irã, Itália, Espanha, México e Brasil (FAOSTAT, 2020). Nacionalmente, a cultura do tomateiro também desempenha papel importante na alimentação da população, sendo os estados de Goiás, São Paulo e Minas Gerais, respectivamente, os maiores produtores (IBGE, 2018).

A planta do tomate é autógama, apresentando caule flexível, se tornando lignificado ao longo de seu desenvolvimento fenológico. Seu porte natural é rasteiro, mas pode ser conduzido de forma ereta ou semiereta, de acordo com a finalidade e aptidão da cultivar ou híbrido utilizado. O hábito de crescimento pode ser de duas formas, determinado e indeterminado. No hábito de crescimento determinado, as plantas não apresentam dominância apical, sendo geralmente rasteiras, onde os frutos são destinados ao processamento industrial. Já o de crescimento indeterminado, as plantas produzem brotações laterais, as quais devem ser podadas e seus frutos são destinados ao consumo *in natura* (FILGUEIRA, 2013).

No Brasil, as cultivares destinadas para o consumo *in natura* são classificadas conforme o formato dos frutos e calibre, que é a relação entre comprimento e o diâmetro transversal dos frutos. Para o mercado, os frutos são divididos em cinco grupos: Santa Cruz, Caqui, Salada, Saladete (italiano) e minitomates (ALVARENGA, 2013).

No mercado ainda há a disponibilidade de híbridos, plantas agronomicamente superiores em relação às cultivares tradicionais. Dentro da tomaticultura já é possível encontrar materiais resistentes a bacterioses, viroses e a nematóides, sendo esses materiais cultivados sob ambiente protegido, cujos produtores apresentam alto nível tecnológico, atingindo altos índices de produtividade (ALVARENGA, 2013).

Para culturas que são produzidas a partir de mudas, como o tomateiro, esta etapa constitui-se como uma das mais importantes, uma vez que dela dependerá o desempenho final das plantas em termos de produtividade, fitossanidade e até mesmo valor nutricional dos frutos (MAGGIONI et al., 2014). Um estande desejável de mudas além de apresentar bons níveis de enraizamento, proporcionará alto índice de sobrevivência após o transplante e, também, deve apresentar homogeneidade no porte da parte aérea. Para produtores de tomate, o estiolamento da parte aérea é um fenômeno fisiológico que deve ser combatido, pois além das mudas serem em grande parte provenientes de sementes híbridas, possuindo alto valor agregado e com isso representando alto investimento, o estiolamento torna as mudas mais susceptíveis aos estresses bióticos e abióticos após o transplante (SELEGUINI et al., 2013), comprometendo a viabilidade da atividade de produção.

Dentro da tomaticultura de alto nível, já é usual o cultivo em estufas. Essa tecnologia é utilizada pelos produtores para superar variações climáticas como excesso de chuvas, ventos e geadas (PURQUÉRIO; TIVELLI, 2014). Para implantação das estufas demanda-se alto investimento. Entretanto, trabalhos têm mostrado alto índice de produtividade e qualidade dos frutos, como observado por Fayad et al. (2001) com produção total de até 115,4 t ha⁻¹ e 94% de frutos com padrão comercial e por Charlo et al. (2009), que obtiveram produção de 6,61 kg planta⁻¹, com massa média de frutos de 109,3 g. O sucesso do cultivo em ambiente protegido se dá pela possibilidade de manejo preciso de insumos, entre eles, a água (SILVA et al., 2013). Além disso, o maior controle de pragas e doenças, possibilita uma eficiência no uso de fertilizantes e defensivos, além de proporcionarem níveis adequados de luminosidade e de trocas gasosas (PURQUÉRIO; TIVELLI, 2014; HACHMANN, 2015).

Os hormônios vegetais são compostos orgânicos que em baixas concentrações são sintetizados em uma parte da planta, podendo atuar tanto no local de produção quanto translocados para outras partes. Esses hormônios vegetais causam respostas fisiológicas, seja promovendo ou inibindo determinado processo natural do desenvolvimento da planta, podendo ser bióticos como ataques de pragas e incidência de doenças e, abióticos, como luz, temperatura e disponibilidade hídrica e de nutrientes, sendo os responsáveis pela regulação do metabolismo, crescimento, desenvolvimento e variações fisiológicas nas plantas (TAIZ et al., 2017).

Os hormônios vegetais atuam como mensageiros químicos interagindo com proteínas específicas. Auxinas, ácido abscísico, citocininas, giberelinas e etileno são os principais hormônios vegetais na regulação do crescimento e desenvolvimento das plantas (TAIZ et al., 2017). Após estudos mais recentes, compostos como os brassinosteróides, jasmonatos, salicilatos, poliaminas, hormônios polipeptídeos e estrigolactonas foram inseridos à lista dos hormônios vegetais (FAGAN et al., 2015).

Os reguladores vegetais são substâncias sintéticas que também atuam na regulação dos processos metabólicos e fisiológicos, promovendo ou inibindo o crescimento das plantas como os hormônios vegetais (ESPINDULA et al., 2010). Nas últimas décadas, a utilização dos reguladores vegetais como estratégia agrícola vem ganhando destaque no mundo. A aplicação desses reguladores vegetais pode se dar de diferentes formas como tratamento de sementes e estacas, via foliar e via solo, desde que se atentem às características do material vegetal e o modo de ação do regulador vegetal. Esses objetivos agrônômicos vão desde regular o crescimento da planta, estimular sua produção, melhorar a qualidade de frutos e facilitar a colheita (FAGAN et al., 2015).

As giberelinas (GA) são um grupo de hormônios vegetais que compreende grande número de compostos diterpenos cíclicos. As giberelinas possuem diversas funções ao longo do ciclo de vida das plantas, promovendo a germinação de sementes, a transição para o florescimento, o desenvolvimento do grão de pólen, o crescimento do tubo polínico, o desenvolvimento de frutos, o alongamento celular, sendo conhecidas pela ordem que foram descobertas (GA₁, GA₂, GA₃, ... GA_{N+1}) (TAIZ et al., 2017).

A biossíntese das giberelinas pode ocorrer em várias partes da planta, como em sementes, folhas e caules. Sua rota biossintética é dividida em três etapas, na qual a

primeira inicia-se nos plastídios, com a produção de uma molécula precursora linear contendo 20 átomos de carbono, o geranylgeranyl-difosfato (GGPP), que sofre a ação das enzimas *ent*-copalil-difosfato sintase e *ent*-caureno sintase, sendo convertido a *ent*-caureno. Na segunda etapa, o *ent*-caureno é oxidado pelas enzimas *ent*-caureno oxidase e *ent*-caurenóico oxidase, associadas ao retículo endoplasmático, levando à formação da GA₁₂-aldeído e GA₅₃-aldeído. Já na terceira e última etapa, ocorre a formação no citoplasma das demais GA, a partir de GA₁₂-aldeído através de reações oxidativas pela atividade da GA₂₀-oxidase, sendo a GA₁₂ a precursora de outras giberelinas de 20 carbonos e a enzima 3β-hidroxiase, sendo responsável pela formação de GA₁ e GA₄, ambas as mais ativas nas plantas (TAIZ et al., 2017).

Os reguladores vegetais utilizados em práticas agronômicas para controlar o crescimento das plantas, em sua maioria, atuam inibindo a biossíntese de giberelinas. Dependendo de seu grupo e modo de ação, esses produtos podem atuar em uma das três etapas da biossíntese de giberelinas (MOUCO et al., 2010). O primeiro grupo de inibidores atua bloqueando a síntese de *ent*-caureno, impedindo sua formação a partir de geranylgeranyl-difosfato (ESPINDULA et al., 2010). Os compostos quaternários de amônio, como o cloreto de chlormequat e o cloreto de mepiquat fazem parte deste grupo (MOUCO et al., 2010). O segundo grupo de inibidores atua no bloqueio da síntese de GA₁₂-aldeído, não possibilitando a oxidação de *ent*-caureno pela enzima *ent*-caureno oxidase (RADEMACHER, 2000). Como exemplo, destacam-se os compostos cíclicos nitrogenados como o uniconazole, paclobutrazol e ancimidol. O terceiro grupo atua na última etapa de biossíntese de giberelinas em caráter de competição pelos sítios de ligação das dioxigenases. As acilciclohexadionas como o etil-trinexapac e o prohexadiona-cálcio representam esse grupo (ESPINDULA et al., 2010).

O prohexadiona-cálcica (ProCa: cálcio 3-óxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexano carboxilato) é um composto de baixo nível toxicológico, além de ocasionar danos em abelhas, peixes, aves, mamíferos e na microbiota do solo. Em plantas possui meia-vida, entre duas a três semanas e no solo persiste por no máximo sete dias, se degradando, principalmente, em dióxido de carbono. Na presença de água, a molécula se degrada por fotólise, gerando também dióxido de carbono (US EPA, 2020). Assim, o ProCa não é persistente no ambiente, possuindo baixo potencial bioacumulativo em agroecossistemas.

É possível encontrar considerável número de relatos científicos atestando a eficácia do ProCa no controle do crescimento em diferentes estádios do desenvolvimento vegetal. Em berinjela, Ozbay e Ergun (2015) constataram que mudas tratadas com ProCa apresentaram redução no crescimento de até 37%. O regulador vegetal também proporcionou reduções significativas na parte aérea de mudas de morangueiro (PEREIRA et al., 2016) e em plantas jovens de alho e cebola (OUZOUNIDOU et al., 2011). As pesquisas também apontaram que o ProCa pode reduzir o crescimento secundário no caule das plantas, pois Altintas (2011) e Barreto et al. (2018) observaram esse efeito em plantas de tomate e morango, respectivamente. Desta forma, é esperado que mudas tratadas com ProCa sejam mais compactas, e apresentem menor massa seca. Essa hipótese é comprovada em trabalho de Orbay e Ergun, (2015), onde mudas de berinjela apresentaram redução de 15% nos valores de massa seca da parte aérea em relação às mudas não tratadas com o regulador vegetal.

Uma das características que contribuem para a ampla utilização do ProCa em espécies cultivadas, é seu baixo nível residual nas plantas, podendo ser utilizados em diferentes estádios fenológicos dos vegetais. Hamiréz et al. (2005) relataram que em plantas de tomateiro que receberam concentrações de ProCa, o crescimento vegetativo se igualou ao controle ao 6º dia após a aplicação dos tratamentos. Em plantas de morangueiro, Kim et al. (2019) relataram que os efeitos de ProCa foram evidenciados até a quarta semana após a aplicação, perdendo, após esse período, sua capacidade de inibir a síntese de giberelinas. Os resultados apresentados sugerem que o ProCa possui um baixo nível residual, sendo eficaz na fase de mudas, não comprometendo o desenvolvimento vegetativo após o transplante.

Em pesquisas que envolvem a aplicação de produtos via foliar em espécies cultivadas, é sempre importante verificar a influência destes no desempenho fotossintético, visto que, essas aplicações podem impactar diretamente nos aspectos produtivos. Kim et al. (2019) não observaram variação na eficiência quântica potencial do FSII com três e quatro semanas após a aplicação de ProCa, em relação ao controle, em plantas de morangueiro. Por sua sensibilidade, a eficiência quântica potencial do FSII pode ser importante indicador do desempenho fotossintético das plantas (KRAUSE; WEIS, 1991). Plantas de tomateiro tratadas com ProCa também não tiveram seu aparato fotossintético afetado pelo regulador vegetal (GIANNAKOULA; ILIAS, 2007). Em macieiras, Medjdoub et al. (2007) não

encontraram variação na taxa de redução do CO₂, taxa de transpiração e condutância estomática, após a aplicação de ProCa. Em videiras que receberam aplicações de ProCa, Thomidis et al. (2018) não observaram diferença entre os valores de condutância estomática, em comparação com plantas que não receberam o regulador vegetal. Desta forma, o ProCa pode controlar o crescimento vegetal sem trazer prejuízo para a fotossíntese.

Como relatado por alguns autores em espécies cultivadas, o ProCa além de não apresentar influência nos aspectos relacionados à fotossíntese em concentrações adequadas, também pode não impactar os aspectos produtivos e de qualidade. Becker et al. (2020) não observaram variação significativa após o transplante de mudas tratadas com ProCa para número de frutos por planta, massa fresca de frutos por planta e massa média de frutos em morangueiro. Carra et al. (2016), em pereiras tratadas com ProCa, não observaram diferença estatística para as variáveis de produção e produtividade. Para os aspectos de qualidade, Würz et al. (2020) não observaram variação significativa para as variáveis de pH, sólidos solúveis e acidez titulável em videiras após a aplicação de ProCa, em relação ao controle. A aplicação de ProCa também não influenciou a acidez titulável em frutos de goiaba (CHANG, 2016) e em laranja (REHMAN et al., 2018). Pasa e Einhorn (2017) não identificaram variação nos valores de sólido solúveis e acidez titulável em plantas de pera tratadas com ProCa.

Outros reguladores vegetais que atuam inibindo as rotas de síntese de giberelinas podem apresentar altos níveis de acúmulo, sobretudo no solo, devido à forma de aplicação. Como exemplo, tem-se o paclobutrazol, atualmente o regulador vegetal mais utilizado para o controle do crescimento em plantas. Yeshitela et al. (2004) constataram que a aplicação de paclobutrazol por pulverização foliar e molhamento de substrato acarretou no acúmulo de resíduos em partes dos vegetais testados. Owens e Stover (1999) também identificaram acumulação de paclobutrazol nas plantas estudadas, causando fitotoxicidade às mesmas. Desta forma, o ProCa pode ser uma alternativa viável para a utilização agrônômica, reduzindo consideravelmente os danos às plantas e ao ambiente, levando-se em conta, entre outros fatores, a forma de aplicação, concentração e se possui capacidade estressante às plantas.

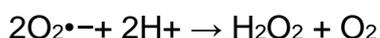
Conceitualmente, radical livre pode ser uma molécula ou um átomo que possua um ou mais elétron(s) desemparelhado(s) em seus orbitais (GUTTERIDGE; HALLIWELL 2000). Esses radicais em sua maioria estão na forma de espécies reativas de oxigênio,

conhecidas internacionalmente pela sigla (ROS) e são subprodutos de reações redox (KOVALCHUK, 2010). As plantas, assim como outros organismos aeróbicos, também produzem radicais livres, em decorrência de seus processos metabólicos ligados à respiração, acontecendo nas mitocôndrias, cloroplastos e peroxissomos (BARBOSA, 2014). Assim, as plantas necessitam ativar seu sistema antioxidante para combater as espécies reativas de oxigênio.

Uma ferramenta eficiente para se constatar estresse oxidativo em plantas é a quantificação de malondialdeído (MDA) oriundo do processo de peroxidação lipídica (RACHMILEVITCH, 2006). Este, por sua vez, é resultante da ação de radicais livres sobre lipídios insaturados das membranas celulares gerando, principalmente, radicais alquila, alcoila e peroxila, que danificam sua estrutura, comprometendo os mecanismos de troca de metabólitos e, em um quadro mais grave, na morte celular, sendo este processo, provavelmente o evento citotóxico primário desencadeando uma sequência de lesões às células (BENZIE, 1996). Em gramados, Rezapour Fard et al. (2015) relataram acúmulo de MDA após a aplicação de ProCa, apontando a peroxidação de lipídios como um importante indicador para se estimar a estabilidade da membrana celular.

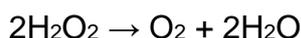
Os antioxidantes podem ser definidos como substâncias cuja função se relaciona com a inibição e/ou redução dos radicais livres em células (BIANCHI; ANTUNES, 1999). Podem ser classificados em enzimáticos e não enzimáticos, cujas funções são, respectivamente, compostos que bloqueiam o início da oxidação (removem as espécies reativas) e moléculas que se unem aos radicais orgânicos, sendo consumidas durante as reações (CONTIGUIBA et al., 2013). Dentre os enzimáticos destacam-se as enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POD) (BARBOSA et al., 2014).

A SOD é considerada a mais efetiva das enzimas do sistema antioxidante e é encontrada em todas as células de organismos aeróbios, sendo de grande importância na tolerância aos estresses e no combate das ROS (GILL; TUTEJA, 2010). A superóxido dismutase (SOD) possibilita a dismutação do radical ânion superóxido, convertendo-o em peróxido de hidrogênio e oxigênio, apresentada pela reação abaixo:



Isto diminui a chance de formação do radical hidroxila. A ação desta enzima possibilita a eliminação do O_2^- mesmo em baixas concentrações (BARREIROS et al., 2006). A SOD pode ser classificada em três tipos, de acordo com o co-fator utilizado: Fe-SOD localizadas nos cloroplastos, Mn-SOD localizada nas mitocôndrias e Cu/Zn-SOD localizada nos cloroplastos, peroxissomos e citosol (KARUPPANAPANDIAN et al., 2011).

Existem diferentes isoformas da catalase (CAT) que podem ser encontradas em diferentes compartimentos celulares. Em milho, por exemplo, há três isoformas (CAT1, CAT2 e CAT3): CAT1 e CAT2 são encontradas nos peroxissomos e citoplasma, enquanto a CAT3 é encontrada nas mitocôndrias (GILL; TUTEJA, 2010). A Catalase atua na dismutação do peróxido de hidrogênio em oxigênio e água (BARREIROS et al., 2006), como mostrado na reação abaixo:



O termo “peroxidase” (POD) se relaciona com uma enzima que catalisa a oxirredução entre o peróxido de hidrogênio e agentes redutores ($H_2O_2 + AH_2 \rightarrow 2H_2O + A$). São isoenzimas com diversos perfis de expressão e que participam em diferentes processos, como a lignificação, suberização, catabolismo de auxinas, recuperação de ferimentos e nos mecanismos de defesa contra patógenos (HIRAGA et al., 2001). A decomposição de peróxido de hidrogênio pelas peroxidases é altamente ativa, principalmente, na presença de agentes sinalizadores de espécies reativas de oxigênio, como os flavonoides (YAMASAKI et al., 1997). A verificação indireta de estresse oxidativo pelo método de extração e quantificação de enzimas antioxidantes pode ser uma ferramenta eficiente para identificar possíveis alterações metabólicas em plantas, seja oriunda de fatores bióticos ou abióticos.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de mudas e plantas de tomateiro em cultivo protegido submetidas à aplicação de diferentes concentrações de prohexadiona cálcio em aspectos do crescimento, fisiologia, bioquímica, produção e qualidade de frutos.

CAPÍTULO 1

Aspectos fisiológicos e bioquímicos de mudas de tomateiro tratadas com prohexadiona cálcica

Capítulo elaborado com base nas diretrizes do periódico *Brazilian Journal of Agricultural Sciences*.

Resumo

O objetivo do trabalho foi estudar os efeitos de diferentes concentrações do regulador vegetal prohexadiona cálcica (ProCa) no controle do crescimento de mudas de tomateiro. O experimento foi conduzido no viveiro de mudas florestais da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, Campus de Botucatu–SP. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos: 0, 50, 100, 200 e 400 mg de ProCa, com quatro repetições de 30 mudas cada. Os tratamentos foram aplicados com pulverizador manual de CO₂ quando as mudas completaram 20 dias após a semeadura. Dez dias após a aplicação dos tratamentos foram realizadas análises de crescimento das mudas, índice SPAD, trocas gasosas, fluorescência da clorofila a e análises bioquímicas. Pelos resultados obtidos foi possível concluir que as concentrações de ProCa inibiram o crescimento das mudas, não comprometendo o funcionamento de seu aparato fotossintético.

Palavras-chave: enzimas antioxidantes; fluorescência; crescimento; *Solanum lycopersicum* L.

Abstract

The objective of the experiment was to study the effects of different concentrations of the plant growth regulators prohexadione-calcium (ProCa) on the growth control of tomato seedlings. The experiment was carried out in the nursery of forest seedlings of the São Paulo State University (Unesp), School of Agriculture, Botucatu. The experimental design was completely randomized, composed of five treatments: 0, 50, 100, 200 and 400 mg of active ingredient (a.i.) of ProCa, with four replications of 30 seedlings. The treatments were applied with a manual CO₂ sprayer when the seedlings completed 20 days after sowing. Ten days after the application of the treatments were evaluated seedling growth analysis, SPAD index, gas exchange, chlorophyll a fluorescence and biochemical analyses were performed. From the results obtained it was possible to concluded that the concentrations of ProCa inhibited the growth of the seedlings, without compromising their photosynthetic apparatus.

Key words: antioxidant enzymes; fluorescence; growth; *Solanum lycopersicum* L.

1.1 INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) pertence à família Solanaceae, tem seu centro de origem na região andina, abrangendo Equador, Peru, Colômbia, Bolívia e norte do Chile. Apesar de ser uma planta perene, em todo o mundo é cultivada como anual (Peixoto et al., 2017). No Brasil, a cultura do tomateiro também desempenha papel importante na alimentação da população, sendo os estados de Goiás, São Paulo e Minas Gerais, respectivamente, os maiores produtores (IBGE, 2018). A produção pode ser destinada para a indústria ou para o consumo in natura. Os frutos são classificados conforme o formato e calibre, que é a relação entre comprimento e o diâmetro transversal. Para o mercado, os frutos são divididos em cinco grupos: Santa Cruz, Caqui, Salada, Saladete (italiano) e minitomates (Alvarenga, 2013).

No mercado ainda há a disponibilidade de sementes de tomateiro híbridas, plantas agronomicamente superiores em relação às cultivares tradicionais, que apresentam um maior custo de aquisição, em decorrência de maior potencial produtivo e resistência a bacterioses, viroses e a nematóides, sendo esses, cultivados sob ambiente protegido, cujos produtores apresentam alto nível tecnológico, atingindo altos índices de produtividade (Alvarenga, 2013).

Para espécies vegetais que são produzidas a partir de mudas, como o tomateiro, esta etapa constitui-se como uma das mais importantes, uma vez que dela dependerá o sucesso final das plantas em termos de produtividade, fitossanidade e até mesmo valor nutricional dos frutos (Maggioni et al., 2014). Um estande desejável de mudas, além de apresentar bons níveis de enraizamento, alto índice de sobrevivência após o transplante, também deve apresentar homogeneidade no porte da parte aérea. Para produtores de tomate, no qual a produção de mudas se dá em alta densidade para redução de custos, o estiolamento, que é o crescimento excessivo da parte aérea, é um fenômeno fisiológico que deve ser combatido, pois além das mudas serem em grande parte provenientes de sementes híbridas, possuindo alto valor agregado e, com isso, representando alto investimento na aquisição, o estiolamento torna as mudas mais susceptíveis aos estresses bióticos e abióticos após o transplante, comprometendo a viabilidade da atividade de produção (Seleguini et al., 2013).

Nas últimas décadas, a utilização de reguladores vegetais como estratégia agrícola vem ganhando destaque no mundo. Reguladores vegetais são substâncias sintéticas que atuam na regulação dos processos metabólicos e fisiológicos, promovendo ou inibindo o crescimento das

plantas, como os hormônios vegetais (Espindula et al., 2010). A aplicação desses reguladores vegetais pode se dar de diferentes formas, como tratamento de sementes e estacas, via foliar e via solo, desde que se atentem para as características do material vegetal e o modo de ação do regulador vegetal.

São diversos os objetivos agronômicos dos reguladores vegetais, como regular o crescimento da planta, estimular a produção e a produtividade, melhorar a qualidade de frutos e facilitar a colheita (Fagan et al., 2015). Os reguladores vegetais utilizados em práticas agronômicas para controlar o crescimento das plantas, em sua maioria, atuam inibindo a biossíntese das giberelinas. Dependendo de seu grupo e modo de ação, esses produtos podem atuar em uma das três etapas da biossíntese de giberelinas (Mouco et al., 2010).

Os inibidores da biossíntese de giberelinas se dividem em três grupos. O primeiro atua bloqueando a síntese de ent-caureno, impedindo sua formação a partir de geranilgeranil-difosfato (Espindula et al., 2010). O segundo grupo de inibidores bloqueia a GA12–aldeído, não possibilitando a oxidação de ent-caureno pela enzima ent-caureno oxidase (Rademacher, 2000). O terceiro grupo atua na última etapa de biossíntese de giberelinas, em caráter de competição pelos sítios de ligação das dioxigenases. As acilciclohexadionas como o proexadiona-cálcio, representa esse grupo (Espindula et al., 2010).

O prohexadiona-cálcica (ProCa: cálcio 3-óxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexano carboxilato) é um regulador de crescimento vegetal já utilizado há alguns anos para controlar o crescimento em algumas espécies de cereais e frutíferas e, em pesquisas mais recentes, em espécies olerícolas (Altintas, 2011; Ozbay & Ergun, 2015). Atualmente, o ProCa é classificado como um composto de baixo nível toxicológico não apresentando efeitos mutagênicos, cancerígeno ou teratogênico, além de não trazer danos para abelhas, peixes, aves, mamíferos e na microbiota do solo. Desta forma, o ProCa pode ser uma alternativa viável para a utilização agronômica, reduzindo consideravelmente os danos às plantas e ao ambiente.

Muitas são as lacunas que precisam ser preenchidas sobre o uso de reguladores vegetais em mudas. Dentro da literatura sobre o assunto, os trabalhos se restringem com raras exceções a avaliarem apenas variáveis de crescimento das mudas, não investigando mais a fundo as possíveis respostas das mudas em outros aspectos como em sua fisiologia e bioquímica. Análises de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* podem apontar os efeitos da aplicação de ProCa na fotossíntese, sobretudo na eficiência quântica potencial do fotossistema II (Fv/Fm), por ser esse, um indicador sensível do desempenho fotossintético das plantas (Krause & Weis, 1991). A quantificação de peroxidação lipídica e enzimática podem apontar possíveis níveis de estresse oxidativo causado pelo ProCa, apontando possíveis danos às membranas celulares e a

ação de enzimas antioxidantes, como superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POD), apresentando um panorama mais completo da ação do regulador vegetal nas plantas. Essas respostas poderão auxiliar viveiristas e produtores, contribuindo para o avanço da tomaticultura, tornando o setor mais eficiente e competitivo.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes concentrações de ProCa no controle do crescimento de mudas de tomateiro.

1.2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, nas dependências da Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP, campus de Botucatu – SP (latitude: 22°51'22.1"S, longitude: 48°26'01.0"W). As mudas foram preparadas a partir de sementes do híbrido 'Santy', da empresa Sakata Seeds Sudamérica, em bandejas de 128 células com substrato comercial (Carolina Soil II®). Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em casa de vegetação, sob aspersão, com frequência de irrigação de 30 segundos a cada uma hora. Aos vinte dias após a semeadura (DAS), com as mudas já apresentando um par de folhas expandidas, os tratamentos foram aplicados.

Os tratamentos foram compostos das concentrações 0, 50, 100, 200 e 400 mg de Prohexadiona cálcica (ProCa) (Viviful® com 27,5% de i.a), da empresa Iharabras S.A. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições de 30 mudas cada. O regulador vegetal foi misturado em água diretamente no recipiente de aplicação juntamente com agente adjuvante. A aplicação dos tratamentos foi realizada por pulverização foliar com pulverizador manual de CO₂ pressurizado, com 0,3 kgf cm⁻², com bico cônico, modelo X2, com vazão estimada de 3,5 mL por célula.

Dez dias após a aplicação dos tratamentos, quando as mudas completaram trinta dias após a semeadura (DAS), período esse, levando-se em conta o tempo necessário para que a muda fique pronta para o transplantio, foram realizadas as seguintes avaliações em dez mudas por repetição: número de folhas, comprimento do caule, medindo-se da base do caule até o pecíolo do primeiro par de folhas com auxílio de paquímetro digital; comprimento de folhas, medindo-se da bainha até a extremidade do folíolo terminal da folha; largura da folha na região mediana da folha; índice Spad (concentração de clorofila total) em folíolos terminais, utilizando clorofilômetro portátil (Modelo 502 – Minolta), obtendo os valores a partir da média de cinco leituras por folha totalmente expandida de cada muda.

Os parâmetros fisiológicos de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a* foram avaliados utilizando-se equipamento de sistema aberto de fotossíntese com analisador de CO₂ e vapor d'água por radiação infravermelha (Infra Red Gas Analyser – IRGA, modelo LI-6400, - LICOR), com fluorômetro acoplado. Para os parâmetros de trocas gasosas foram analisados: taxa de redução do CO₂ (*A*, μmol CO₂ m⁻²s⁻¹); taxa de transpiração (*E*, mmol vapor d'água m⁻²s⁻¹); condutância estomática (*g_s*, mol m⁻²s⁻¹) e concentração interna de CO₂ na folha (*C_i*, μmol CO₂ mol⁻¹). Para os parâmetros fisiológicos de fluorescência foi usado o método de pulso saturado, utilizando a nomenclatura recomendada por Baker & Rosenqvist (2004), obtendo os seguintes parâmetros: eficiência quântica potencial do FSII (*F_v/F_m*); eficiência quântica das antenas (*F_v'/F_m'*); coeficiente de extinção fotoquímico (*q_P*); coeficiente de extinção não-fotoquímico (*q_{NP}*) e taxa aparente de transporte de elétrons (*ETR*). Para ambos os parâmetros foi utilizado uma muda por repetição e as medições ocorreram entre às 07:00 e 11:00 horas da manhã.

As mudas também foram avaliadas bioquimicamente, por meio da peroxidação de lipídios (TBAR), determinada pela técnica descrita por Heath & Packer (1968); determinação da atividade das enzimas: superóxido dismutase (SOD), realizada pelo método de Giannopolitis & Reis (1977); catalase (CAT) pela metodologia descrita por Peixoto et al. (1999) e peroxidase (POD), determinada de acordo com Teisseire & Guy (2000). Para as análises foram utilizadas folhas de dez mudas por repetição, congeladas instantaneamente em nitrogênio líquido e armazenadas em ultrafreezer à -85°C até o momento das análises.

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk spss, onde não foram necessários passar por transformações. As médias das variáveis passaram por análise de variância e as médias foram agrupadas pelo teste Scott–Knott e, aquelas que apresentaram significância ao nível de 5%, foram submetidas à análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas usando o software de acesso livre R, versão 3.3.2.

1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os tratamentos para as variáveis comprimento do caule, número de folhas, comprimento e largura de folha foram significativos, apresentando uma redução linear pelas concentrações de ProCa (Figura 1). Para todos os tratamentos com ProCa, o comprimento do caule foi reduzido em 18, 41, 49 e 57%, respectivamente, nas concentrações crescentes do regulador vegetal de 50, 100, 200 e 400 mg, quando comparados ao controle (Figura 1A). Para o número de folhas, apenas a concentração de 400 mg se diferiu do controle e dos demais tratamentos (Figura 1B). Para o comprimento de folha, todos os tratamentos diferiram em relação ao controle,

apresentando redução de 15, 39, 35 e 36%, respectivamente, às concentrações crescentes de ProCa, não havendo diferença significativa entre os tratamentos (Figura 1C). Resposta semelhante também foi observada para a largura de folha, onde as concentrações de ProCa reduziram a largura das folhas em relação ao controle (Figura 1D).

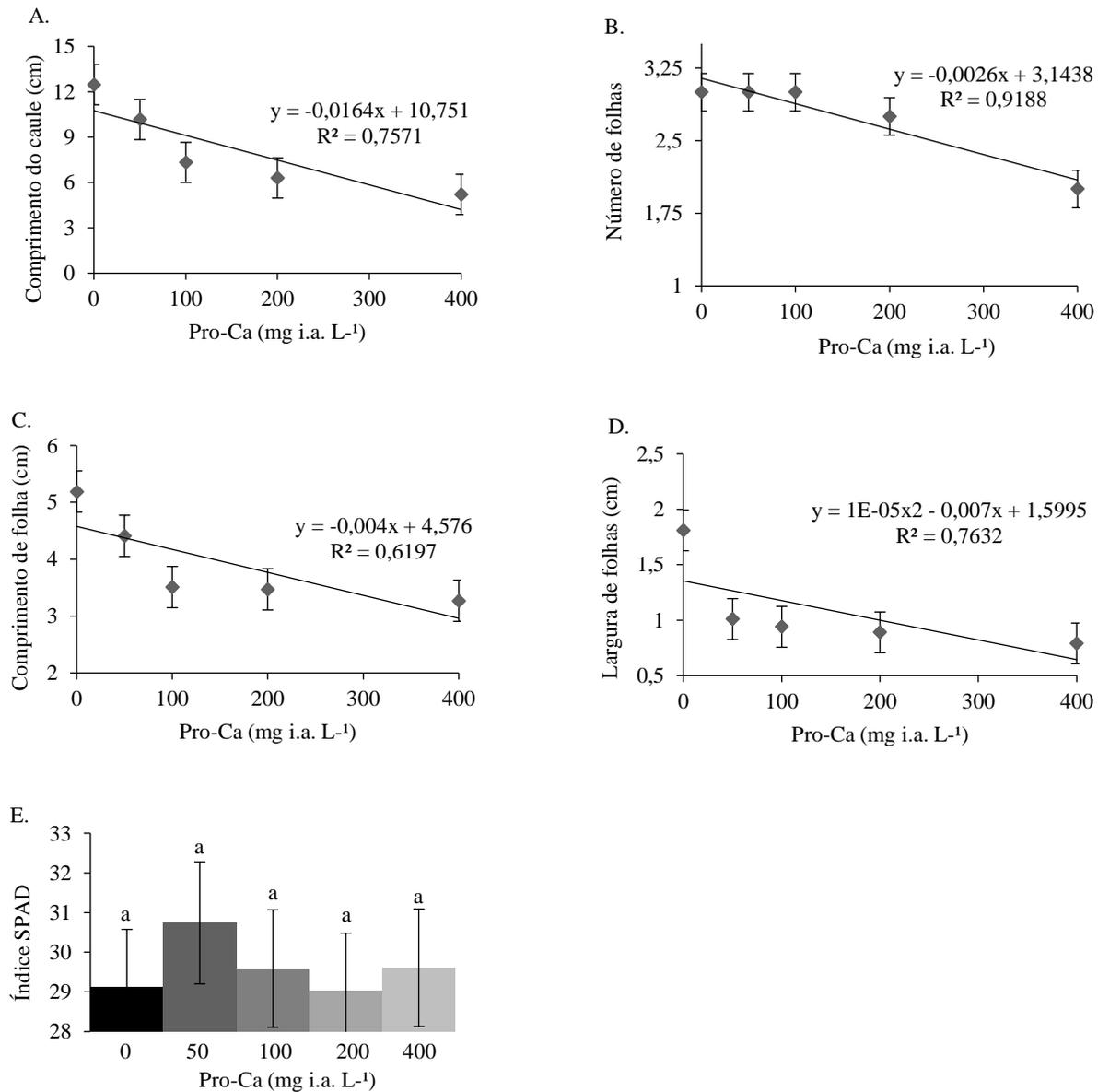


Figura 1. Comprimento do caule em cm (A); número de folhas (B); comprimento de folha em cm (C); largura de folha em cm (D) e índice SPAD (E) em mudas de tomateiro 'Santy', submetidas a diferentes concentrações de Proexadiona cálcica (ProCa), 10 dias após a aplicação dos tratamentos

Pereira et al. (2016) observaram comportamento polinomial e linear para a redução do crescimento vegetativo em *Fragaria x ananassa* D. para as variáveis estudadas na presença de ProCa nas concentrações entre 50 a 800 mg L⁻¹. A eficiência do ProCa na redução do crescimento vegetativo também foi constatada em outros trabalhos com tomateiro

(Giannakoula & Ilias, 2007; Altintas, 2011) e em outras espécies vegetais como *Malus domestica* B. (Guak, 2013), *Solanum melongena* L. (Ozbay & Ergun, 2015) e *Fragaria x ananassa* D. (Kim et al., 2019). As crescentes concentrações de ProCa aplicadas às mudas inibiram a biossíntese de giberelinas, possivelmente, competindo com os sítios de ligação das dioxigenases (Espindula et al., 2010). As reduções do crescimento vegetativo nas mudas de tomateiro na presença de ProCa, sobretudo nas concentrações mais elevadas (200 e 400 mg L⁻¹), possivelmente, se deu devido à regulação hormonal em decorrência da presença do regulador vegetal no metabolismo das mudas. Esta presença promoveu possível redução dos níveis de giberelinas endógenas, possivelmente, GA₁ e GA₄, por serem as principais giberelinas atuantes no crescimento vegetal (Pereira et al., 2016) e inibindo o alongamento celular, que neste estudo fica evidenciado no comprimento do caule das mudas tratadas com ProCa (Figura 2).

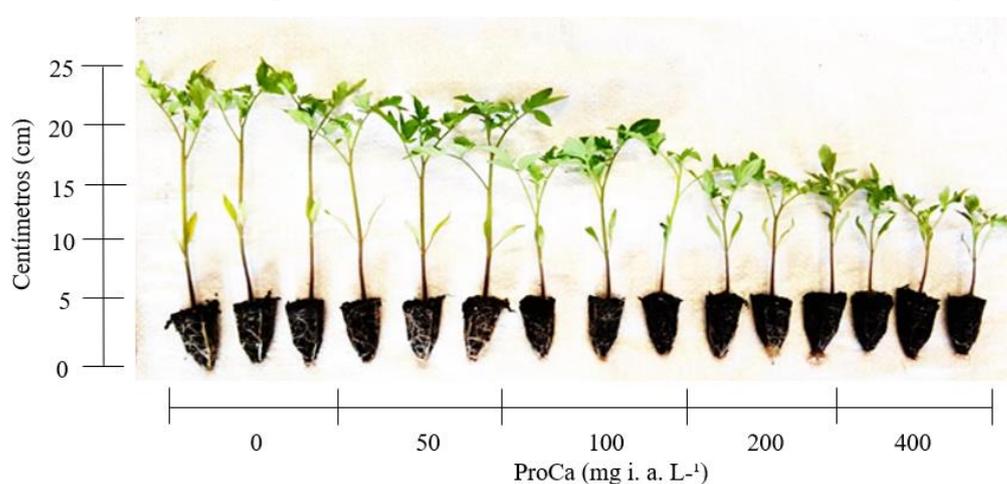


Figura 2. Altura de mudas de tomateiro 'Santy' (cm) submetidas a diferentes concentrações de Proexadiona cálcica (ProCa) em mg L⁻¹, aos 10 dias após a aplicação dos tratamentos

As concentrações de ProCa não tiveram efeito significativo sobre o índice SPAD nas mudas de tomateiro (Figura 1B). Diferentes autores encontraram respostas distintas do índice SPAD, forma indireta para aferir o teor de clorofila em vegetais. Kofidis et al. (2008) também não observaram diferença significativa nos teores de clorofilas trabalhando com *Coriandrum sativum* na presença de ProCa, nas concentrações de 100 e 200 mg L⁻¹ aplicadas em três momentos distintos. Entretanto, Giannakoula & Ilias (2007) trabalhando com *Solanum lycopersicum* L. concluíram que ProCa promoveu declínio significativo no teor de clorofila nas folhas analisadas nas doses de 100, 200 e 300 mg L⁻¹, pulverizadas em dois momentos distintos em intervalos de 10 dias. Os mesmos autores argumentam que a redução pode ter sido causada por fotoxidação. Já em mudas de *Solanum melongena* L., Ozbay & Ergun (2015) observaram aumento no teor de clorofilas após uma única aplicação de ProCa nas concentrações de 100 e

150 mg L⁻¹. Os mesmos autores levantaram a hipótese de que mudas sob efeito de ProCa apresentaram menor área foliar e, como estratégia compensatória, sintetizaram mais moléculas de clorofila.

Estes diferentes resultados mostram que ainda não está clara como o ProCa atua sobre a biossíntese da clorofila. Em síntese, as clorofilas são pigmentos especializados na absorção de luz e transferência de energia radiante para os centros de reação, permitindo o funcionamento do aparato fotossintético (Taiz et al., 2017). No presente estudo, como os valores de clorofila não foram influenciados significativamente pelos tratamentos, mesmo que não investigado neste trabalho, é possível afirmar em última análise, que o ProCa não afetou significativamente a biossíntese dos pigmentos envolvidos na fotossíntese (Taiz et al., 2017).

Quando se avaliou os parâmetros fisiológicos de trocas gasosas e fluorescência da clorofila *a*, também não foi observado efeito significativo dos tratamentos em comparação ao controle (Tabela 1). Resultados semelhantes foram encontrados por Giannakoula & Ilias (2007), trabalhando com duas cultivares de *Solanum lycopersicum* L., onde após a aplicação de 100, 200 e 300 mg L⁻¹ de ProCa não observaram alteração na concentração interna de carbono (*C_i*) para a cultivar Karla, assim como, na taxa de transpiração (*E*) para a cultivar Hari Moran também não diferiu significativamente. Medjdoub et al. (2007) trabalhando com *Malus domestica* B., variedade Royal Gala, também não observaram diferença significativa nas taxas de redução do CO₂ (*A*), na taxa de transpiração (*E*) e na condutância estomática (*g_s*) em folhas de tomateiro na presença de ProCa, nas concentrações de 125 e 250 mg L⁻¹. O mesmo resultado foi observado em *Vitis vinifera* L. cultivar Xinomavro, por Thomidis et al. (2018), onde a aplicação de ProCa não alterou a (*g_s*) em folhas de videiras. O processo de excitação da clorofila pela luz induz a formação de ATP e NADPH+H⁺, por sua vez, esses produtos, são consumidos no ciclo de Calvin-Benson, por reações catalisadas por enzimas que reduzem o CO₂ atmosférico em trioses fosfato (Taiz et al., 2017). Diante do exposto, as concentrações de ProCa não afetaram as reações luminosas e as de carboxilação da fotossíntese, permitindo que as mudas se desenvolvessem normalmente.

Tabela 1. Valores médios da taxa de redução do CO₂ (*A*, μmol m⁻²s⁻¹); condutância estomática (*g_s*, 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 (*EUA*, μmol CO₂ (mmol H₂O)⁻¹); eficiência de carboxilação (*A/C_i*); eficiência quântica potencial do FSII (*F_v/F_m*); eficiência quântica das antenas (*F_v'/F_m'*); coeficiente de extinção fotoquímico (*q_P*); coeficiente de extinção não-fotoquímico (*NPQ*) e taxa aparente de transporte de elétrons (*ETR*), em mudas de tomateiro 'Santy' submetidas a diferentes concentrações de Proexadiona cálcica (ProCa)

ProCa (mg i.a.L ⁻¹)	<i>A</i>	<i>g_s</i>	<i>C_i</i>	<i>E</i>	<i>EUA</i>	<i>A/C_i</i>	<i>F_v/F_m</i>	<i>F_v'/F_m'</i>	<i>q_P</i>	<i>NPQ</i>	<i>ETR</i>
------------------------------------	----------	----------------------	----------------------	----------	------------	------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	----------------------	------------	------------

C- 0	23,81	0,51	290,49	6,89	3,88	0,09	0,94	0,47	0,53	2,06	164,97
T1- 50	24,31	0,54	292,57	7,07	3,86	0,09	0,93	0,47	0,51	1,98	167,58
T2- 100	23,47	0,52	290,20	6,87	3,85	0,09	0,96	0,48	0,50	1,94	162,72
T3- 200	23,47	0,52	291,25	6,73	3,81	0,09	0,95	0,47	0,51	1,99	165,47
T4- 400	24,56	0,51	290,82	7,01	3,84	0,09	0,96	0,48	0,53	1,92	166,37
CV (%)	1,58	2,65	0,44	1,58	0,48	1,16	1,22	1,51	2,11	2,94	1,48

Médias agrupadas pelo teste Skott Knott. ao nível de 5% de significância

Dados contrastantes aos apresentados neste trabalho foram obtidos por Giannakoula & Ilias (2007), que constataram diferença significativa para *E* e *Ci*, sendo observada redução e falta de tendência de crescimento e decréscimo, respectivamente, em cultivares de *Solanum lycopersicum* L. na presença de ProCa em comparação ao controle. Os mesmos autores também observaram redução na eficiência quântica potencial do FSII (*Fv/Fm*), em ambos os materiais estudados.

O ProCa também pode potencializar o aparato fotossintético, como verificado em *Malus domestica* B. variedade Royal Gala que, na presença de ProCa, apresentou incremento de *A* em relação ao controle com o aumento das concentrações de ProCa (Medjdoub et al., 2007). Em *Vitis vinifera* L. a presença de ProCa na concentração de 250 mg L⁻¹ aumentaram em 12 e 22%, respectivamente, os valores de *A* e *gs* em comparação com plantas que não receberam o regulador vegetal (Thomidis et al., 2018). Em plantas adultas de *Fragaria x ananassa* D., Kim et al. (2019) observaram que após a aplicação de ProCa a *Fv/Fm* foi incrementada em todos os tratamentos em comparação com o controle.

Para Privé et al. (2006) os efeitos de ProCa em diferentes espécies vegetais está condicionado à sazonalidade, padrão de crescimento da parte aérea, da espécie em estudo, do manejo empregado e de fatores bióticos. No presente estudo, o material vegetal utilizado foi um híbrido, junto a isso, o cultivo em ambiente protegido, restringindo a ação de fatores ambientais, associados ao manejo correto, tanto nutricional, quanto o fitossanitário, podem ter contribuído na manutenção dos processos fotossintéticos, mesmo na presença de ProCa.

A não significância encontrada entre os tratamentos e o controle para os parâmetros fisiológicos de fluorescência, sobretudo a *Fv/Fm*, reforça a abordagem de que o ProCa não trouxe prejuízo fisiológico para as mudas. A eficiência quântica potencial do FSII é um indicador sensível do desempenho fotossintético das plantas (Krause & Weis, 1991). Entretanto, na presença de estresse, Bolhár-Nordenkampf et al. (1989) afirmam que valores da *Fv/Fm* compreendidos entre 0,75 a 0,85 apontam para a superação desse estresse, impedindo danos fotoinibitórios. Como os valores observados nas mudas de tomateiro para a *Fv/Fm* ficaram entre 0,93 e 0,96, é possível constatar que as mudas superaram um possível estresse causado pelo ProCa, levando à ativação do sistema antioxidante, para não comprometer seu desempenho

fisiológico. Esse sistema antioxidante também pode ter contribuído para a manutenção da integridade das membranas dos cloroplastos, local responsável pelas reações luminosas da fotossíntese (Taiz et al., 2017).

Ao investigar a influência das concentrações de ProCa nos aspectos bioquímicos, foi possível observar diferença significativa entre os tratamentos em relação ao controle (Figura 3). Foi possível observar estresse moderado causado pelas concentrações de ProCa, evidenciado pelos valores de peroxidação lipídica, que respondeu de forma crescente e linear às concentrações de ProCa (Figura 3A). Apesar de significativa, a amplitude de variação dos valores entre os tratamentos foi pequena, o que pode sugerir que o regulador vegetal não induz ao estresse severo. Em gramados tratados com ProCa, Rezapour Fard et al. (2015) também observaram aumento da peroxidação lipídica, constatando acúmulo de malondialdeído (MDA) e vazamento de íons. A peroxidação lipídica, quantificada pelo conteúdo de MDA é um importante indicador para se estimar a estabilidade da membrana celular (Rachmilevitch, 2006).

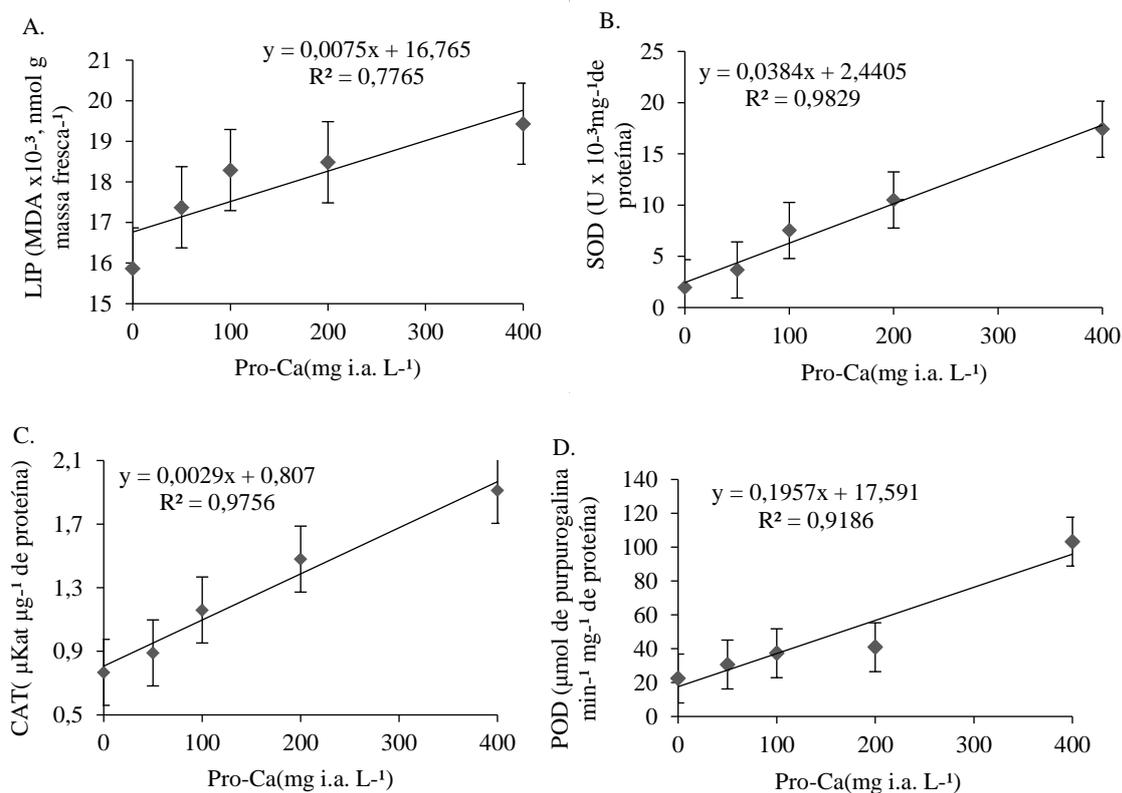


Figura 3. Peroxidação de lipídios (MDA x 10⁻³, nmol g massa fresca⁻¹) (A); atividades das enzimas superóxido dismutase (SOD x 10⁻³, U mg de proteína) (B); catalase (CAT, μKat μg⁻¹ de proteína) (C) e peroxidase (POD, μmol de purpurogalina min⁻¹ mg⁻¹ de proteína) (D) em mudas de tomateiro ‘Santy’ submetidas a diferentes concentrações de Proexadiona cálcio (ProCa)

A atividade enzimática apresentou crescimento linear para as enzimas superóxido dismutase (SOD), catalase (CAT) e peroxidase (POD) frente às concentrações de ProCa, (Figuras 3B, 3C e 3D). Constatou-se intensa atividade antioxidante nas mudas, indiretamente aferida pelas atividades das enzimas. Para a enzima SOD houve aumento da atividade em relação ao controle de 89, 289, 444 e 800%, respectivamente nas concentrações de 50, 100, 200 e 400 mg i.a. L⁻¹ de ProCa (Figura 3B). O mesmo padrão de atividade foi observado para as enzimas CAT, com incremento em relação ao controle de 17, 52, 94 e 151% em sua atividade, respectivamente, nas concentrações crescentes de ProCa, e para POD com aumento de 36, 66, 82 e 360% se comparadas ao controle (Figuras 3C e 3D).

A ação antioxidante também foi observada por Pan et al. (2016) em mudas de *Nicotiana tabacum* L. que tiveram a atividade das enzimas SOD, CAT e POD incrementadas na presença de concentrações crescentes de ProCa. Em folhas de *Rubus idaeus* L., Maksimovic et al. (2017) constataram aumento da atividade das enzimas SOD, CAT e POD na presença de ProCa em relação ao controle de 117, 12 e 31%, respectivamente.

A SOD é a primeira enzima atuante no combate as espécies reativas de oxigênio (ROS), promovendo a dismutação do radical superóxido, altamente tóxico, em peróxido de hidrogênio (H₂O₂) e oxigênio (Gill & Tuteja, 2010). Pelas taxas de atividade enzimática pode-se inferir que devido às concentrações de ProCa, as mudas sofreram moderado estresse. Após a ação da SOD, as enzimas CAT e POD agem sobre o H₂O₂, o qual sofre dismutação e oxirredução, liberando oxigênio, água e agente redutor. O H₂O₂ que apesar de não ser tão prejudicial quanto às demais ROS, pode em altas concentrações transpor membranas, formando a hidroxila, radical livre mais reativo (Gill & Tuteja, 2010). Entretanto, esse estresse não foi suficiente para comprometer fisiologicamente as mudas. Para Taiz et al. (2017), em concentrações não danosas às células, as ROS podem desempenhar função de sinalização e regulação fisiológica.

Para qualquer organismo aeróbico, o equilíbrio entre a produção de ROS e a ação do sistema antioxidante é crucial para o funcionamento de seu metabolismo (Taiz et al., 2017). As ROS nas plantas são eliminadas por uma variedade de moléculas solúveis em água e enzimas antioxidantes (Rezapour Fard et al., 2015). Destas, as enzimas antioxidantes são as mais eficazes contra danos oxidativos (Foyer & Fletcher, 2001). Os resultados deste estudo nos permitiram afirmar que o equilíbrio entre as ROS e o sistema antioxidante nas mudas de tomateiros tratados com ProCa foi mantido, garantindo a manutenção de estruturas celulares, que refletiu no vigor das mudas ao final do experimento.

1.4 CONCLUSÕES

Os tratamentos com ProCa inibiram o crescimento das mudas de tomateiro em todas as concentrações avaliadas.

O teor de clorofila, os parâmetros fisiológicos de trocas gasosas e a fluorescência da clorofila *a* não foram afetados pelas aplicações de ProCa.

As concentrações de ProCa ocasionaram moderado estresse nas mudas de tomateiro, não comprometendo o desenvolvimento fisiológico das mesmas.

Entretanto, trabalhos futuros são necessários para investigar, após o transplante, a fenologia de plantas oriundas de mudas que receberam a aplicação de ProCa e seus possíveis efeitos na produção e qualidade de frutos.

1.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, campus de Botucatu e a todos seus servidores, que contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

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

À empresa Sakata Seeds Sudamérica, pela doação das sementes utilizadas nos experimentos.

Ao povo brasileiro, financiadores de um ensino público e de qualidade.

1.6 LITERATURA CITADA

Altintas, S. Effects of prohexadione-calcium with three rates of growth of tomato. *African Journal of Biotechnology*, v.10, n.75, p.17142-17151, 2011. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2594>.

Alvarenga, M.A.R. *Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia*. 2 ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

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, n. 403, p.1607-1621, 2004. <https://doi.org/10.1093/jxb/erh196>.

Bolhar-Nordenkamp, H.R.; Long, S.P.; Baker, N.R.; Oquist, G.; Schreiber, U.L.E.G.; Lechner, E.G. Chlorophyll fluorescence as probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrument. *Functional Ecology*, v.3, n. 4, p.497-514, 1989. <https://doi.org/10.2307/2389624>.

Dragišić Maksimović, J.J.; Poledica, M.M.; Radivojević, D.D.; Milivojević, J.M. Enzymatic profile of 'Willamette' raspberry leaf and fruit affected by Prohexadione-Ca and young canes removal treatments. *Journal of agricultural and food chemistry*, v.65, n.24, p. 5034-5040, 2017. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00638>.

Espindula, M.C.; Rocha, V.S.; Souza, L.T.D.; Souza, M.A.D.; Grossi, J.A.S. Efeitos de reguladores de crescimento na elongação do colmo de trigo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.32, n. 1, p. 09-116, 2010. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.94310.4025/actasciagron.v32i1.943>.

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. 302.

Foyer, C.H.; Fletcher, J.M. Plant antioxidants: colour me healthy. *Biologist (London, England)*, v.48, n. 3, p. 115–120, 2001. <https://europepmc.org/article/med/11399842>. 13.Mar. 2020.

Giannakoula, A.; Ilias, I. Chlorophyll fluorescence and photosystem II activity of tomato leaves as affected by irradiance and prohexadione-calcium. In: *Wseas International Conference on Renewable Energy Source*. Arcachon: World Scientific and Engineering Academy and Society, 2007, p. 49-56. https://www.researchgate.net/profile/Anastasia_Giannakoula/publication/255599563_Chlorophyll_Fluorescence_and_Photosystem_II_Activity_of_Tomato_Leaves_as_Affected_by_Irradiance_and_ProhexadioneCalcium/links/5432be770cf22395f29c3e72/Chlorophyll-Fluorescence-and-Photosystem-II-Activity-of-Tomato-Leaves-as-Affected-by-Irradiance-and-Prohexadione-Calcium.pdf. 25 Fev. 2020.

Giannopolitis, C.N.; Reis, S.K. Superoxide dismutase I. Occurrence in higher plants. *Plant Physiology*, v.59, n. 2, p.309-314, 1997. <https://doi.org/10.1104/pp.59.2.309>.

Gill, S.S.; Tuteja, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and biochemistry*, v.48, n.12, p.909-930, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>.

Guak, S. Effects of prohexadione-Ca, ethephon, and water stress on growth and productivity of 'Golden Delicious'/M.9 apple. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology*, v.31, n. 1, p.38-49, 2013. <https://doi.org/10.7235/hort.2013.12191>.

Heath, R.L.; Packer, L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, v.125, n.1, p.189-198, 1968. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(68\)90654-1](https://doi.org/10.1016/0003-9861(68)90654-1).

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Culturas temporárias e permanentes 2017. 2018. <https://www.ibge.gov.br/estatisticasnovportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturastemporarias-e-permanentes.html?=&t=oque-e> . 09 Jun. 2019.

Kim, H.M.; Lee, H.R.; Kang, J.H.; Hwang, S.J. Prohexadione-Calcium Application during Vegetative Growth Affects Growth of Mother Plants, Runners, and Runner Plants of Maehyang Strawberry. *Agronomy*, v. 9, n. 3, p.155-167, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030155>.

Kofidis, G.; Giannakoula, A.; Ilias, I.F. Growth, anatomy and chlorophyll fluorescence of coriander plants (*Coriandrum sativum* L.) treated with prohexadione-calcium and daminozide. *Acta Biologica Cracoviensia*, v.50, n. 2, p.55-62. 2008. https://www.researchgate.net/profile/Anastasia_Giannakoula/publication/242605214_Growth_anatomy_and_Chlorophyll_fluorescence_of_coriander_plants_Coriandrum_sativum_L_treated_with_prohexadionecalcium_and_daminozide/links/5432be770cf22395f29c3e73.pdf. 15 Fev. 2020.

Krause, G.H.; Weis, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review Plant Physiology. Plant Molecular Biology*, v.42, n. 1, p.313-349, 1991. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.42.060191.001525>.

Maggioni, M.S.; Rosa, C.B.C.J.; Rosa Junior, E.J.; Silva, E.F.; Rosa, Y.B.C.J.; Scalon, S.P.Q.; Vasconcelos, A.A. Desenvolvimento de mudas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do recipiente e do tipo e densidade de substratos. *Revista Brasileira de Plantas Mediciniais*, v. 16, n. 1, p. 10-17, 2014. <https://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/18623/artigo.pdf?sequence=1>. 02 Mar. 2020.

Medjdoub, R.; Val, J.; Blanco, A. Physiological effects of prohexadione-calcium in apple trees: effects on parameters related to photoproductivity. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, v. 82, n. 1, p. 126-132, 2007. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512209>.

Mouco, M.A.D.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. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782010000200004>.

Ozbay, N.; Ergun, N. Prohexadione calcium on the growth and quality of eggplant seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 50, n. 10, p.932-938, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015001000009>.

Pan, M.; Yin, Y.; Shen, F.; Luo, B.; Tang, X.; He, H.; Chen, D. Effects of prohexadione calcium on physiological index of tobacco seedlings during cold stress. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, v.29, n.2, p. 288-293, 2016. <https://www.cabdirect.org/?target=%2fcabdirect%2fsearch%2f%3fq%3ddo%253a%2522Southwest%2bChina%2bJournal%2bof%2bAgricultural%2bSciences%2522>. 25 Fev. 2020.

Peixoto, P.H.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 n.3, p. 137-143, 1999. https://www.researchgate.net/profile/Paulo_Peixoto4/publication/267338431_ALUMINUM_EFFECTS_ON_LIPID_PEROXIDATION_AND_ON_THE_ACTIVITIES_OF_ENZYMES_OF_OXIDATIVE_METABOLISM_IN_SORGHUM/links/544db4960cf2d6347f45cb09.pdf. 11 Mar. 2020.

Peixoto, J.V.M.; Moraes, E. R. de; Peixoto, J. L. M.; Nascimento, A. dos Reis, Neves, J.G. Tomaticultura: aspectos morfológicos e propriedades físico-químicas do fruto. *Revista Científica Rural, Bagé*, v. 19, n.1, p. 124-131, 2017. <http://revista.urcamp.tche.br/index.php/RCR/article/view/96/130>. 17 Mar. 2020.

Pereira, I. dos S.; Gonçalves, M. A.; Picolotto, L.; Vignolo, G. K.; Antunes, L. E. C. Controle do crescimento de mudas de morangueiro 'Camarosa' cultivadas em substrato comercial pela aplicação de proexadione cálcio. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v.59, n.1, p. 93-98, 2016. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2126>.

Privé, J.P.; Cline, J.; Fava, E. Influence of prohexadione calcium (Apogee®) on shoot growth of non-bearing mature apple trees in two different growing regions. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v. 86, n. 1, p. 227-233, 2006. <https://doi.org/10.4141/P05-031>.

Rachmilevitch, S. Physiological and biochemical indicator for stress tolerance. *Plant-environment interactions*, p.321-356, 2006. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10029300702/>. 10 Jan. 2020.

Rademacher, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, v.51, p.501-531, 2000. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.51.1.501>.

Rezapour Fard, J.; Kafi, M.; Naderi, R. The Enhancement of Drought Stress Tolerance of Kentucky Bluegrass by Prohexadione-Calcium Treatment. *Journal of Ornamental Plants*, v. 5, n. 4, p.197-204, 2015. http://jornamental.iaurasht.ac.ir/article_517021_7493e923927bc323dea206e1b5ae7006.pdf. 17 Mar. 2020.

Seleguini, A.; Faria Júnior, M.J.de A.; Benett, K.S.S.; Lemos, O.L.; Seno, S. Estratégias para produção de mudas de tomateiro utilizando paclobutrazol. *Semina: Ciências Agrárias*, v.34, p. 539-548, 2013. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n2p539>.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I. M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6ª ed. Porto Alegre, Artmed. 2017. 858p.

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. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(99\)00257-5](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(99)00257-5).

Thomidis, T.; Zioziou, E.; Koundouras, S.; Navrozidis, I.; Nikolaou, N. Effect of prohexadione-Ca on leaf chlorophyll content, gas exchange, berry size and composition, wine quality and disease susceptibility in *Vitis vinifera* L. cv Xinomavro. *Scientia horticultrae*, v. 238, p.369-374, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.008>.

CAPÍTULO 2

Prohexadiona cálcica no desempenho de mudas e plantas de tomateiro: crescimento, fenologia, fisiologia, produção e qualidade de frutos

(Capítulo elaborado com base nas diretrizes do periódico *Brazilian Journal of Agricultural Sciences*)

Resumo

Estudou-se os efeitos das concentrações de prohexadiona cálcica (ProCa) no crescimento de mudas e seus possíveis reflexos nas plantas em campo, após o transplante, na produção e na qualidade de frutos. O trabalho foi dividido em duas etapas, onde a primeira foi conduzida no viveiro de mudas florestais da Faculdade de Ciências Agronômicas – UNESP, Campus de Botucatu – SP. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos: 0, 50, 100, 200 e 400 mg de ProCa, com quatro repetições de 30 mudas cada. Os tratamentos foram aplicados com pulverizador manual de CO₂ quando as mudas completaram 20 dias após a semeadura. Dez dias após a aplicação dos tratamentos foram avaliados: a altura da parte aérea, diâmetro do caule, massa fresca e seca da parte aérea e raiz. Para a etapa II, após as avaliações de crescimento das mudas da etapa anterior, foram avaliadas as duas concentrações mais responsivas nas avaliações de crescimento, mais uma testemunha. O experimento foi conduzido na Fazenda de Ensino, Pesquisa e Produção de São Manuel, localizada no município de São Manuel, SP, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Botucatu – SP. O arranjo experimental foi em blocos casualizados, totalizando 120 plantas avaliadas, avaliando em períodos diferentes: altura das plantas, número de folhas, diâmetro do coleto e os dias até o florescimento. Também foram realizadas avaliações de fluorescência da clorofila *a*, trocas gasosas, análises bioquímicas de estresse oxidativo, de produção e qualidade de frutos. Para a etapa I foi possível observar que as concentrações de ProCa reduziram o crescimento das mudas de tomateiro, entretanto, não afetando o comprimento de raiz. Na etapa II, as concentrações de ProCa não influenciaram as variáveis de crescimento e os dias até a antese. Também não houve efeito significativo nos parâmetros fisiológicos de fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas. As concentrações de ProCa provocaram moderado estresse nas plantas após o transplante. Todavia, a produção e os aspectos de qualidade investigados, não foram afetados pelo regulador vegetal.

palavras-chave: parte aérea, inibição do crescimento, pós-colheita, transplante

Abstract

Study the effects of the calcium prohexadione (ProCa) options on the growth of seedlings and their possible effects on plants in the field, after transplantation, on fruit production and quality. The work was divided into two stages, where the first was conducted in the nursery of forest seedlings of the São Paulo State University (Unesp), School of Agriculture, Botucatu. The experimental design was completely randomized, composed of five treatments: 0, 50, 100, 200 and 400 mg of ProCa, with four replications of 30 seedlings each. The treatments were done with a manual CO₂ sprayer when the seedlings completed 20 days after sowing. Ten days after the application of the treatments were obtained: the height of the aerial part, diameter of the stem, fresh and dry mass of the aerial part and root. For a stage II, after the news of the growth of the seedlings from the previous stage, the two most responsive in the growth experiences were evaluated, plus one witness. The experiment was carried out at the São Manuel Teaching, Research and Production Farm, located in the city of São Manuel, SP, belonging to the São Paulo State University (Unesp), School of Agriculture, Botucatu. The experimental arrangement was in randomized blocks, totaling 120 plants evaluated, evaluating at different periods: plant height, number of leaves, diameter of the collection and the days until flowering. Chlorophyll a fluorescence, gas exchange, biochemical analysis of oxidative stress, fruit production and quality were also planned. For one stage, it was possible to observe that ProCa needed to reduce the growth of tomato seedlings, however, not affecting the root length. In step II, the ProCa rules do not influence growth variables and the days until anthesis. There was also no significant effect on the physiological parameters of chlorophyll a fluorescence and gas exchange. The ProCa charges caused moderate stress on the plants after transplantation. However, the production and quality aspects investigated were not affected by the plant growth regulator.

Key words: shoot, growth inhibition, post-harvest, transplant

2.1 INTRODUÇÃO

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) é uma olerícola na qual a primeira etapa de cultivo é a produção de mudas em casa de vegetação e, após algumas semanas, são transplantadas para estufas ou em campo aberto. As mudas de tomateiro são comumente produzidas por viveiristas e produtores em bandejas com alta densidade, visando a redução dos custos de produção. Para a tomaticultura atingir alto nível de eficiência, inúmeros fatores precisam ser levantados, desde a escolha da área de produção até o consumidor final. Das etapas de cultivo, a produção de mudas é certamente o momento mais crítico, pois os reflexos desta atividade irão impactar diretamente na produção final. É essencial no momento do transplante das mudas, que elas estejam saudáveis e fisiologicamente prontas, apresentando entre outros fatores, um tamanho padrão, favorecendo o estabelecimento das plantas.

Um dos principais problemas da produção em alta densidade de mudas em bandejas é o estiolamento da parte aérea, devido ao excesso de crescimento vegetativo, oriundo do sombreamento e adensamento. Esse distúrbio ocorre como estratégia de competição pela luz, acarretando em mudanças fisiológicas, levando entre outras alterações, ao alongamento do caule e menor acúmulo de matéria seca, formando mudas frágeis, mais suscetíveis aos estresses biótico e abiótico, após o transplante (Seleguini et al., 2013). No plantio mecanizado, prática comum dentro da tomaticultura, mudas estioladas também são menos compatíveis com máquinas de transplante em comparação com mudas de tamanho padrão, comprometendo a eficiência da atividade, visto que, as máquinas são projetadas para um padrão específico de tamanho de mudas (Bozokalfa, 2008).

Os reguladores vegetais podem atuar de diferentes formas nas plantas, a depender do objetivo que se quer alcançar com a cultura, seja estimular sua produção e produtividade, promover maior qualidade de frutos, facilitar a colheita ou controlar o crescimento vegetativo (Fagan et al., 2015). Os reguladores vegetais com a função de controlar o crescimento vegetal, são aplicados comumente via foliar ou rega, proporcionando a redução de ramos e altura total das plantas, já tendo sido apontada como estratégia eficiente dentro das práticas agrônomicas (Pasa & Einhorn, 2014; Rezazadeh & Harkess, 2015; Kim et al., 2019).

O controle do crescimento das plantas pelo uso de reguladores vegetais se dá fisiologicamente pela inibição da biossíntese de giberelinas. Dentre esses, destaca-se a prohexadiona-cálcio (ProCa: cálcio 3-óxido-4-propionil-5-oxo-3-ciclohexano carboxilato) que atua inibindo as etapas finais da biossíntese de giberelinas, reduzindo a ação da 3 β -hidroxilase, enzima atuante na conversão de GA₂₀ (giberelina inativa) em GA₁ (giberelina ativa) (Hawerth

& Petri, 2014). Pesquisas com o uso de ProCa vêm apontando resultados satisfatórios no controle do crescimento vegetativo em espécies como arroz, maçã, tomate, berinjela e morango (Ilias & Rajapake, 2005; Ergun et al., 2007; Kim et al., 2007; Altintas, 2011; Ozbay & Ergun, 2015; Kim et al., 2019). Entretanto, ainda são escassos os estudos com a utilização do ProCa em mudas e, sobretudo, seus possíveis efeitos após o transplante, em seu desenvolvimento fisiológico, aspectos produtivos e de pós-colheita.

Diante do elucidado, o objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos de diferentes concentrações de ProCa no controle do crescimento de mudas de tomateiro e seus possíveis reflexos no crescimento e desenvolvimento das plantas após o transplante, em sua produção e qualidade.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi dividida em duas etapas, sendo a primeira para investigar os efeitos de diferentes concentrações do regulador vegetal nas mudas e a segunda, seus possíveis reflexos no desempenho das plantas após o transplante e em aspectos produtivos e de qualidade de frutos. Para ambos os experimentos, as mudas foram preparadas em casa de vegetação, nas dependências da Faculdade de Ciências Agrônomicas – UNESP, campus de Botucatu – SP (latitude: 22°51'22.1"S, longitude: 48°26'01.0"W). As mudas foram preparadas a partir de sementes do híbrido 'Santy', da empresa Sakata Seeds Sudamérica, em bandejas de 128 células com substrato comercial (Carolina Soil II®). Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em casa de vegetação com sistema de aspersão hídrica, com frequência de irrigação de 30 segundos a cada uma hora. Aos vinte dias após a semeadura (DAS), com as mudas já apresentando um par de folhas expandidas, os tratamentos foram aplicados.

Para a etapa I, os tratamentos foram compostos das concentrações 0, 50, 100, 200 e 400 mg de Prohexadiona cálcica (ProCa) (produto comercial Viviful® com 27,5% de ingrediente ativo), da empresa Iharabras S.A. O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com quatro repetições de 30 mudas cada. O regulador vegetal foi misturado diretamente em água no recipiente de aplicação, com volume de calda total de 500 mL, juntamente com 0,2 mL de espalhante adesivo não iônico Agral® da empresa Syngenta. A aplicação dos tratamentos foi realizada por pulverização foliar com pulverizador manual de CO₂ pressurizado, com 0,3 kgf cm⁻², com bico cônico, modelo X2, com vazão estimada de 3,5 mL por célula.

Dez dias após a aplicação dos tratamentos, quando as mudas completaram 30 dias após a semeadura (DAS), foram realizadas as seguintes avaliações em dez mudas por repetição: altura

da parte aérea, medindo-se o comprimento da base do caule até a extremidade das folhas, com a muda em posição vertical, diâmetro do coleto e comprimento de raiz, medindo-se da base do caule até a extremidade da maior raiz, utilizando paquímetro digital. Também se determinou a massa fresca e seca da parte aérea e de raiz das mudas, por meio da diferença da massa fresca e seca, após secagem em estufa de circulação forçada de ar e a massa determinada em balança analítica digital.

Para a etapa II, foram selecionadas as duas concentrações de ProCa que apresentaram os menores valores médios de parte aérea, mais uma testemunha.

A etapa II foi conduzida na 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 (latitude: 22°76'99.1"S, longitude: 48°56'98.1"W). Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é mesotérmico do tipo Cwa – subtropical úmido.

Após o preparo e avaliação das mudas, que se deu aos 30 DAS, as mesmas foram transplantadas em ambiente protegido do tipo arco com 17 m de comprimento, 7 m de largura e 3 m de altura, coberto com filme de polietileno de baixa densidade com 150 µm aditivado e laterais de tela de monofilamento branca, com impedimento de 14% de entrada de luz. A adubação de base foi realizada, segundo Alvarenga, 2013, conforme análise química do solo, sendo as amostras retiradas de 0 – 20 cm de profundidade (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de solo na camada de 0-20 cm da casa de vegetação antes do transplântio das mudas. São Manuel, SP

pH	M.O.	Presina	Al ³⁺	H+ Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
CaCl ₂	g dm ³	mg dm ³	-----mmolc/dm ³ -----						-----mg/dm ³ -----								
5,3	12	163	0	13	4,0	25	4	33	46	71	22	0,33	1,4	51	3,7	3,8	

O sistema de irrigação foi por gotejamento e adubação por fertirrigação por injeção de fertilizantes, utilizando tubo do tipo “venturi” instalado antes do filtro de disco de 125 microns. O manejo fitossanitário foi realizado de acordo com as necessidades no decorrer da condução da cultura. Após o transplântio das mudas, iniciou-se o monitoramento diário das temperaturas máximas e mínimas, expressas em Graus Celsius (°C), sendo os dados apresentados na Figura 1.

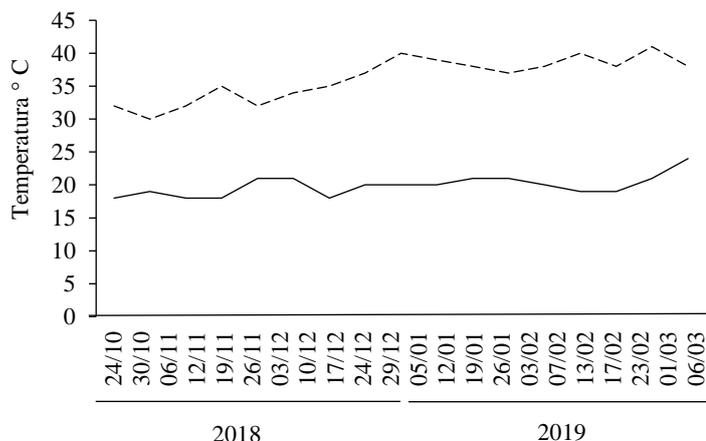


Figura 1. Temperaturas máximas (- - -) e mínimas (—) apresentadas em Graus Celsius (°C) observadas no interior da casa de vegetação após o transplante das mudas. São Manuel-SP, 2018/2019

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com dois tratamentos, mais uma testemunha, distribuídas em cinco blocos, totalizando 120 plantas avaliadas

Para as avaliações de crescimento das plantas em campo foram realizadas cinco medições de altura, número de folhas e diâmetro do coleto, aos 25, 40, 55, 70 e 85 dias após aplicação dos tratamentos (DAAT), até o desponte logo após o 6° cacho. Para a variável de altura de planta foi utilizada trena graduada e a medição foi tomada entre o coleto e o ápice do ponteiro. Para o diâmetro do coleto foi utilizado paquímetro digital. Também foi verificado o número de dias até a antese das flores. Para isso foi computada como antese, a abertura mínima de duas flores em cada planta.

Os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* e de trocas gasosas foram avaliados utilizando equipamento de sistema aberto de fotossíntese com analisador de CO₂ e vapor d'água por radiação infravermelha (*Infra Red Gas Analyser* – IRGA, modelo LI-6400, da LI-COR), com fluorômetro acoplado. Para as avaliações foram utilizadas uma planta por repetição, sendo as leituras realizadas aos 25, 35, 85 e 115 DAAT. Para os parâmetros de fluorescência da clorofila *a* foi usado o método de pulso saturado, utilizando a nomenclatura recomendada por Baker & Rosenqvist (2004), obtendo os seguintes parâmetros: 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 (qNP) e taxa aparente de transporte de elétrons (ETR). Para os parâmetros de trocas gasosas foram analisadas: a taxa de assimilação do CO₂ (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); taxa de transpiração (E , $\text{mmol vapor d'água m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); condutância estomática (g_s ,

mol m⁻² s⁻¹) e concentração interna de CO₂ na folha (C_i , μmol CO₂ mol⁻¹). Para ambos os parâmetros foi utilizado uma muda por repetição e as medições ocorreram entre às 07:00 e 11:00 horas da manhã.

As mudas também foram avaliadas bioquimicamente, por meio da coleta de folhas totalmente expandidas de uma planta por repetição aos 25, 55, 85 e 115 DAAT. Foi avaliada a peroxidação de lipídios (TBAR), determinada pela técnica descrita por Heath & Packer (1968); a atividade das enzimas: superóxido dismutase (SOD), realizada pelo método de Giannopolitis & Reis (1977); atividade da catalase (CAT) pela metodologia descrita por Peixoto et al. (1999) e peroxidase (POD), determinada de acordo com Teisseire & Guy (2000). Para as análises as folhas foram congeladas instantaneamente em nitrogênio líquido e armazenadas em ultrafreezer à -85°C até o momento das análises.

A colheita se iniciou aos 82 DAAT, sendo realizada semanalmente em quatro plantas úteis, até o 6° cacho, dentro de cada repetição. Após cada colheita, os frutos foram separados em comerciais e não comerciais, segundo critérios do CQH/CEAGESP (2003), pesados com auxílio de balança analítica de precisão de um grama e selecionados os frutos comerciais que foram, posteriormente, classificados de acordo com o calibre, com o auxílio de classificador em milímetros, de acordo com as Normas de Classificação do Tomate (CQH/CEAGESP, 2003) e depois contados.

Também foram realizadas análises físico-químicas de frutos, utilizando três frutos do quarto cacho com maturação padronizada. Estes foram coletados, triturados e homogeneizados, formando um extrato aquoso da polpa, o qual foi submetido à leitura de pH em potenciômetro Micronal modelo B-221, conforme as normas do Instituto Adolfo Lutz (Brasil, 2005). Os teores de sólidos solúveis (SS) foram quantificados em refratômetro digital Atago, conforme recomendação da A.O.A.C. (2005). Para a determinação do teor de acidez titulável (AT), expressa em gramas de ácido cítrico por 100 g de polpa, utilizou-se também as normas do Instituto Adolfo Lutz, (Brasil 2005) 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).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade Shapiro-Wilk spss, onde não foram necessários passar por transformações. Os dados apresentados em porcentagem passaram por transformação segundo a equação ($\text{arc sen}\sqrt{(x + 0,5) / 100}$). As médias das variáveis passaram por análise de variância (teste F) e as médias foram comparadas pelo teste Scott-Knott ao nível

de 5% de significância e análise de regressão. As análises estatísticas foram realizadas usando o software de acesso livre R versão 3.3.2.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na etapa I, as concentrações de ProCa se ajustaram de forma linear e polinomial quanto à redução do crescimento vegetativo das mudas de tomateiro, ficando evidenciado no comprimento da parte aérea, diâmetro do coleto e na massa seca da parte aérea e de raiz (Figura 2.). Para as concentrações de 50, 100, 200 e 400 mg. L⁻¹ de ProCa, a redução do comprimento da parte aérea foi de 21, 27, 37 e 49%, respectivamente, em comparação com o controle. Resultados semelhantes foram encontrados por Ozbay & Ergun (2015) em mudas de berinjela (*Solanum melongena* L.) em que as concentrações de 50, 100 e 150 mg L⁻¹ de ProCa reduziram o comprimento da parte aérea em 27, 32 e 37%, respectivamente, se comparadas as mudas que não receberam o regulador vegetal. A eficiência de ProCa também foi comprovada por Pereira et al. (2016) em mudas de morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch.) e por Ouzounidou et al. (2011), que relataram redução linear significativa na altura da parte aérea em plantas de cebola (*Allium cepa* L.) e alho (*Allium sativum* L.), após aplicação de ProCa. O controle do crescimento da parte aérea, se deve à ação do ProCa, inibindo a síntese de giberelinas, reduzindo as taxas de divisão e alongamento celular, impactando diretamente no crescimento vegetativo (Taiz et al., 2017).

Para o diâmetro do coleto, as concentrações de ProCa proporcionaram redução em até 13% em relação ao controle. Entretanto, não houve diferença significativa entre as concentrações de ProCa (Figura 2B). Corroborando com os resultados apresentados, Altintas (2011) também observou redução no diâmetro do coleto em mudas de tomateiro tratadas com ProCa. O mesmo comportamento na redução do diâmetro do coleto foi observado por Barreto et al. (2018) em plantas de morangueiro, após a aplicação foliar de ProCa. Para a qualidade de mudas, a avaliação do diâmetro do coleto é um importante parâmetro, refletindo diretamente no potencial produtivo da cultura (Cocco et al., 2015). Para as mudas de tomateiro estudadas, a redução do crescimento secundário do caule, se deu de forma proporcional ao comprimento da parte aérea, possivelmente, pela relação no volume do tecido do colênquima e o número de vasos nos feixes vasculares.

Seguindo a mesma tendência de redução no porte das mudas, as aplicações de ProCa reduziram a massa seca da parte aérea em 42, 58, 66 e 75%, respectivamente, quanto às concentrações crescentes do regulador vegetal, em comparação ao controle. Dados semelhantes

foram obtidos em mudas de berinjela, que após a aplicação de ProCa tiveram redução de 15% nos valores de massa seca de parte aérea (Ozbay & Ergun, 2015). Como era esperado, a massa seca da parte aérea se relacionou com a redução do comprimento da parte aérea, sendo possível afirmar que foi eficiente a ação do ProCa na competição pelos sítios de ligação das dioxigenases, impedindo a formação de giberelinas ativas (Espindula et al., 2010). O mesmo comportamento foi observado para a massa seca de raiz, que apresentou redução de até 92% na concentração de 400 mg L⁻¹ de ProCa, se comparadas ao controle (Figuras 2 C e 2 D).

Entretanto, não houve efeito significativo das concentrações de ProCa no comprimento de raiz. Semelhante a estes resultados, Ozbay & Ergun (2015) também não observaram efeito significativo das concentrações de ProCa na massa seca de raiz, em mudas de berinjela. A redução da massa seca de raiz e a não presença de redução no tamanho das mesmas, pode estar relacionada com o rearranjo de suas estruturas internas, sobretudo em células do parênquima cortical e no estelo (Taiz et al., 2017), células estas, abundantes na estrutura radicular. Por apresentarem mudas mais compactas, as concentrações de 200 e 400 mg L⁻¹ de ProCa foram selecionadas para a etapa II.

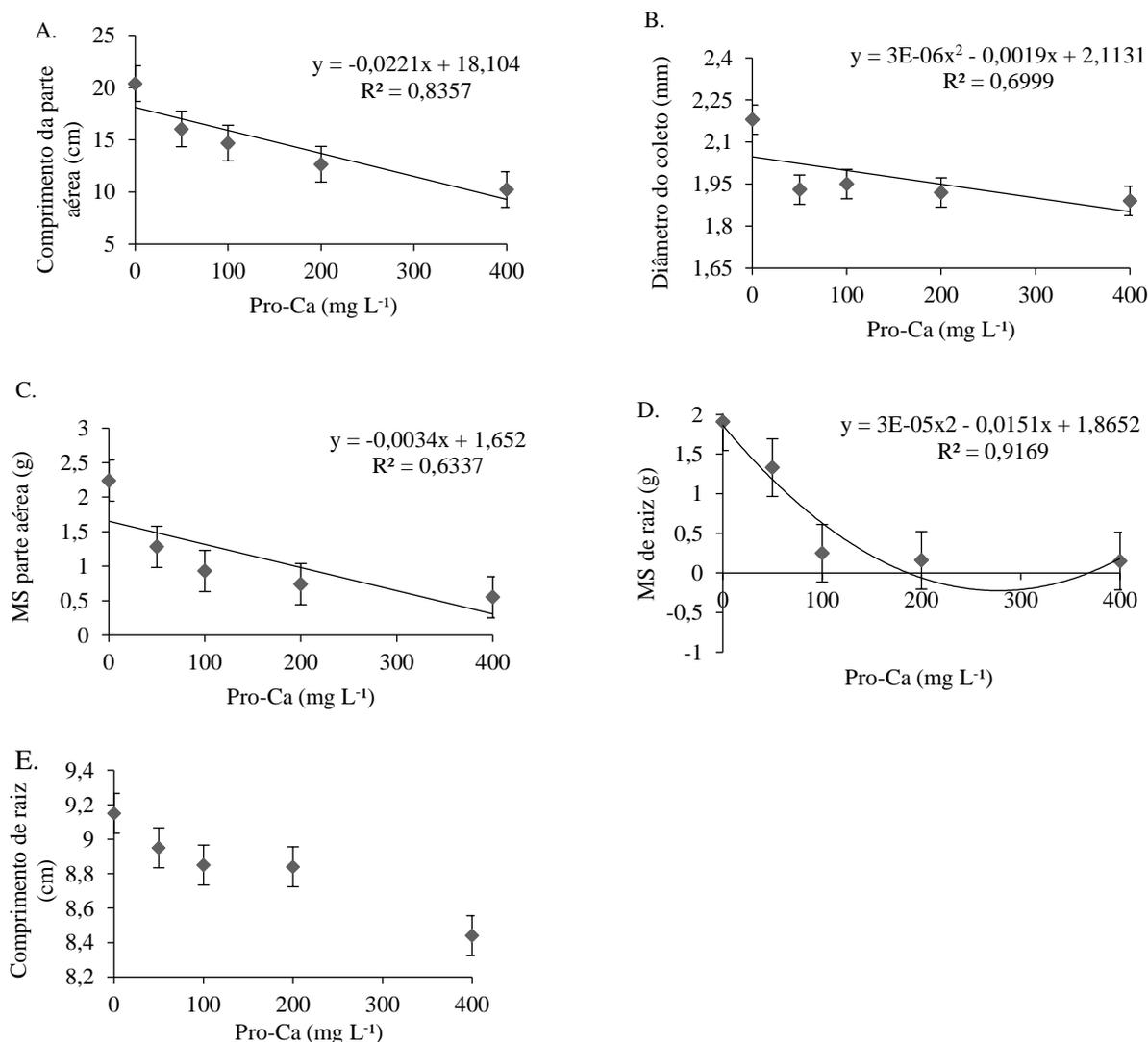


Figura 2. Comprimento da parte aérea (A); diâmetro do coleto (B); massa seca (MS) da parte aérea (C); massa seca (MS) de raiz (D) e comprimento de raiz (E) em mudas de tomateiro ‘Santy’, submetidas a diferentes concentrações de Prohexadiona cálcica (ProCa), 10 dias após aplicação dos tratamentos (DAAT). Médias agrupadas pelo teste Skott Knott ao nível de 5% de significância

Para a etapa II, as concentrações de ProCa aplicadas nas mudas não apresentaram efeito significativo para a altura de plantas, diâmetro do coleto, número de folhas e dias para a antese (DPA) (Tabela 2 e Figura 3). Resultados semelhantes foram encontrados por Ozbay & Metin (2016) que após aplicação de ProCa em mudas de pimenta vermelha (*Capsicum annuum* L.) não observaram variação no crescimento das plantas após o transplante e nem atraso na floração em comparação com o controle. Entretanto, Hamiréz et al. (2005) relataram que em plantas de tomateiro que receberam concentrações de ProCa, o crescimento vegetativo se igualou ao controle no 6º dia após o a aplicação dos tratamentos. Os mesmos autores também observaram redução no diâmetro do coleto na presença de ProCa, contrastando com os resultados obtidos neste estudo. Já em berinjela tratadas com ProCa, Ozbay & Ergun (2015) constataram que as

plantas se igualaram em tamanho ao controle apenas aos 70 dias, após a aplicação dos tratamentos. Kim et al. (2019) relataram que em plantas de morangueiro (*Fragaria x ananassa* D) os efeitos de ProCa foram evidenciados até a quarta semana após a aplicação, perdendo após esse período sua capacidade de inibir a síntese de giberelinas. Os resultados apresentados sugerem que o ProCa possui baixo efeito residual nas plantas, sendo eficaz na fase de mudas, não comprometendo o desenvolvimento vegetativo, após o transplante.

Tabela 2. Altura (m), diâmetro do coleto (em mm) e número de folhas aos 25, 40 55, 70 e 85 dias após aplicação dos tratamentos (DAAT) de plantas de tomateiro 'Santy', oriundas de mudas tratadas com diferentes concentrações de Prohexadiona cálcica (ProCa)

DAAT	ProCa	Altura. (m)	Diâmetro do coleto (mm)	Número de folhas
	0	0,22	5,14	3,03
25	200	0,19	5,31	2,81
	400	0,19	5,36	2,93
cv (%)		12,00	13,59	18,04
	0	0,60	9,47	4,28
40	200	0,58	9,98	4,40
	400	0,60	10,26	4,34
cv (%)		10,65	14,74	13,70
	0	1,08	14,10	4,46
55	200	1,06	14,14	4,31
	400	1,07	14,10	4,56
cv (%)		7,53	12,22	18,12
	0	1,63	16,15	6,81
70	200	1,62	16,23	6,96
	400	1,62	16,21	6,71
cv (%)		3,01	9,72	13,70
	0	1,89	16,89	5,59
85	200	1,91	16,67	5,53
	400	1,87	16,72	5,78
cv (%)		4,50	9,16	16,30

Médias comparadas dentro de cada dia de avaliação, agrupadas pelo teste Skott Knott ao nível de 5% de significância

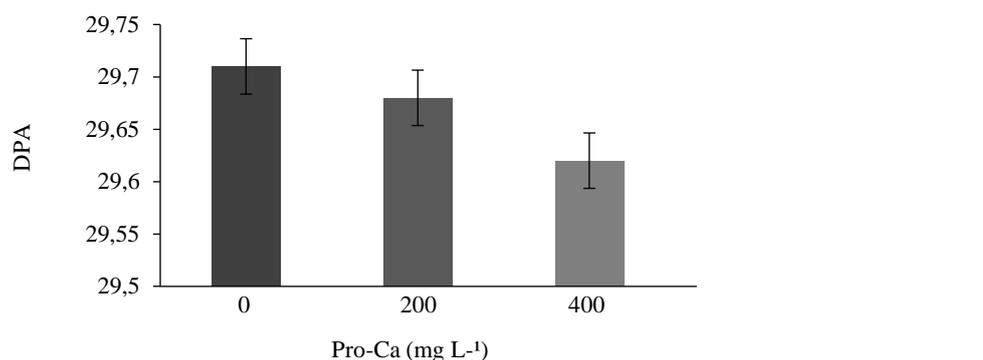


Figura 3. Dias para a antese (DPA) de plantas de tomateiro 'Santy', oriundas de mudas tratadas com diferentes concentrações de Prohexadiona cálcica (ProCa)

Os parâmetros fisiológicos de fluorescência da clorofila *a* não foram afetados significativamente pelas concentrações de ProCa dentro de cada dia de avaliação (Tabela 3). Em morangueiro (*Fragaria x ananassa* D), Kim et al. (2019) também não observaram variação na eficiência quântica potencial do FSII (F_v/F_m) com três e quatro semanas após a aplicação de ProCa, em relação ao controle. Ouzounidou et al. (2011) trabalhando com alho (*Allium sativum* L.) e cebola (*Allium cepa* L.) constataram pequena redução nos valores absolutos da F_v/F_m , de 5 e 9%, respectivamente, em relação ao controle aos 56 dias após a aplicação dos tratamentos com ProCa. O fotossistema II (PSII) pode ter seu centro de reação facilmente danificado por eventuais variações na taxa fotossintética (Taiz et al., 2017). Por sua sensibilidade, a eficiência quântica potencial do PSII pode ser um importante indicador do desempenho fotossintético das plantas (Krause & Weis, 1991).

Tabela 3. Médias da eficiência quântica potencial do PSII (Fv/Fm); eficiência quântica das antenas (Fv'/Fm'); coeficiente de extinção fotoquímico (qP); coeficiente de extinção não-fotoquímico (NPQ); taxa aparente de transporte de elétrons (ETR); taxa de redução do CO_2 (A , $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); condutância estomática (gs , $\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); concentração interna de CO_2 na folha (Ci , $\mu\text{mol mol}^{-1}$); taxa de transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$); eficiência do uso da água (EUA , $\mu\text{mol } CO_2 (\text{mmol } H_2O)^{-1}$) e eficiência de carboxilação (A/Ci) aos 25, 55, 85 e 115 dias após aplicação dos tratamentos (DAAT) em plantas de tomateiro 'Santy' oriundas de mudas tratadas com diferentes concentrações de Prohexadiona cálcica (ProCa)

DAT	ProCa	Fv/Fm	Fv'/Fm'	Qp	NPQ	ETR	A	gs	Ci	E	EuA	A/Ci
	0	0,94	0,47	0,53	2,06	164,97	26,81	0,51	290,49	6,89	3,88	0,09
25	200	0,93	0,47	0,51	1,98	167,66	27,31	0,54	292,57	7,07	3,86	0,09
	400	0,96	0,48	0,50	1,94	162,79	26,47	0,52	290,20	6,87	3,85	0,09
cv (%)		1,22	1,51	2,11	2,94	1,48	1,58	2,65	0,44	1,58	0,48	1,16
	0	0,91	0,48	0,53	1,90	170,12	25,94	0,53	299,38	7,10	3,64	0,08
55	200	0,93	0,48	0,53	2,05	169,01	26,90	0,52	289,98	6,99	3,84	0,09
	400	0,97	0,47	0,51	2,00	165,09	25,48	0,52	290,72	6,91	3,68	0,08
cv (%)		3,62	1,05	2,53	3,83	1,57	2,77	1,21	1,78	1,40	2,77	3,68
	0	0,83	0,47	0,58	1,77	120,63	13,96	0,09	322,45	1,97	7,07	0,04
85	200	0,88	0,48	0,63	1,76	186,64	14,64	0,16	364,82	3,12	4,68	0,04
	400	0,86	0,48	0,55	1,69	115,48	13,39	0,11	304,03	2,21	6,03	0,04
cv (%)		3,21	1,53	7,28	2,50	28,15	4,48	9,32	9,43	24,90	20,22	4,87
	0	0,82	0,46	0,59	1,64	135,98	15,12	0,08	307,76	2,29	6,58	0,04
115	200	0,87	0,49	0,60	1,69	149,09	14,92	0,09	301,45	2,89	5,15	0,04
	400	0,82	0,45	0,58	1,58	132,98	15,23	0,10	304,03	1,98	7,65	0,05
cv (%)		3,59	4,48	1,26	3,41	6,14	1,04	6,51	1,04	19,26	19,44	1,00

Médias comparadas dentro de cada dia de avaliação, agrupadas pelo teste Skott Knott ao nível de 5% de significância

As concentrações de ProCa também não afetaram os parâmetros de trocas gasosas nas plantas de tomateiro após o transplante. Resultados semelhantes foram encontrados por Giannakoula & Ilias (2007), em plantas de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.), onde após a aplicação de 100, 200 e 300 mg L^{-1} de ProCa não observaram alterações na concentração interna de CO_2 na folha (Ci) para a cultivar Karla, assim como, na taxa de transpiração (E), para a cultivar Hari Moran, em comparação com o controle. Medjdoub et al. (2007) também não encontraram variação para a taxa de assimilação do CO_2 (A), E e condutância estomática (gs) em macieira (*Malus domestica* B.) aos 70 dias após a aplicação de ProCa. Em videiras (*Vitis vinifera* L.) que receberam aplicações de ProCa, Thomidis et al. (2018) não observaram diferença entre os valores de gs , em comparação com plantas que não receberam o regulador vegetal.

Estes resultados nos permitem sugerir que as plantas de tomateiro não foram afetadas pelas concentrações de ProCa após o transplante, ou, não foram impactadas por um eventual resíduo

do regulador vegetal ainda presente em seu metabolismo, mantendo as reações luminosas e as de carboxilação da fotossíntese em taxas normais. A manutenção dos aspectos fisiológicos ligados à fotossíntese, após a aplicação de ProCa pode ser encarado como um resultado promissor, pois indica que o carbono fixado nas células-fonte possa ser utilizado na síntese de compostos de reserva, na utilização metabólica e na síntese dos compostos transportados, onde pode ser incorporado em açúcares e exportados para os diferentes tecidos-drenos e/ou estocada temporariamente nos vacúolos (Taiz et al., 2017), sendo estes, parâmetros significativos, levados em consideração para a garantia de produtividade das plantas cultivadas.

Na figura 4A são apresentadas as taxas de peroxidação de lipídios das plantas de tomateiro, que nos permitiu constatar que as mesmas passaram por constante estresse durante seu ciclo fenológico, após o transplântio. Este estresse proporcionou elevação nas taxas de MDA nas plantas que receberam as concentrações de ProCa ainda na fase de mudas, em relação ao controle. Importante indicador de estresse, a taxa de peroxidação de lipídios pode apontar o nível de estabilidade da membrana celular (Rachmilevitch, 2006), que pode ser danificada pelas espécies reativas de oxigênio (ROS). Corroborando com os resultados apresentados, Rezapour Fard et al. (2015), trabalhando com gramado (*Poa pratensis* L.), também observaram aumento nas taxas de peroxidação de lipídios, após a aplicação de ProCa.

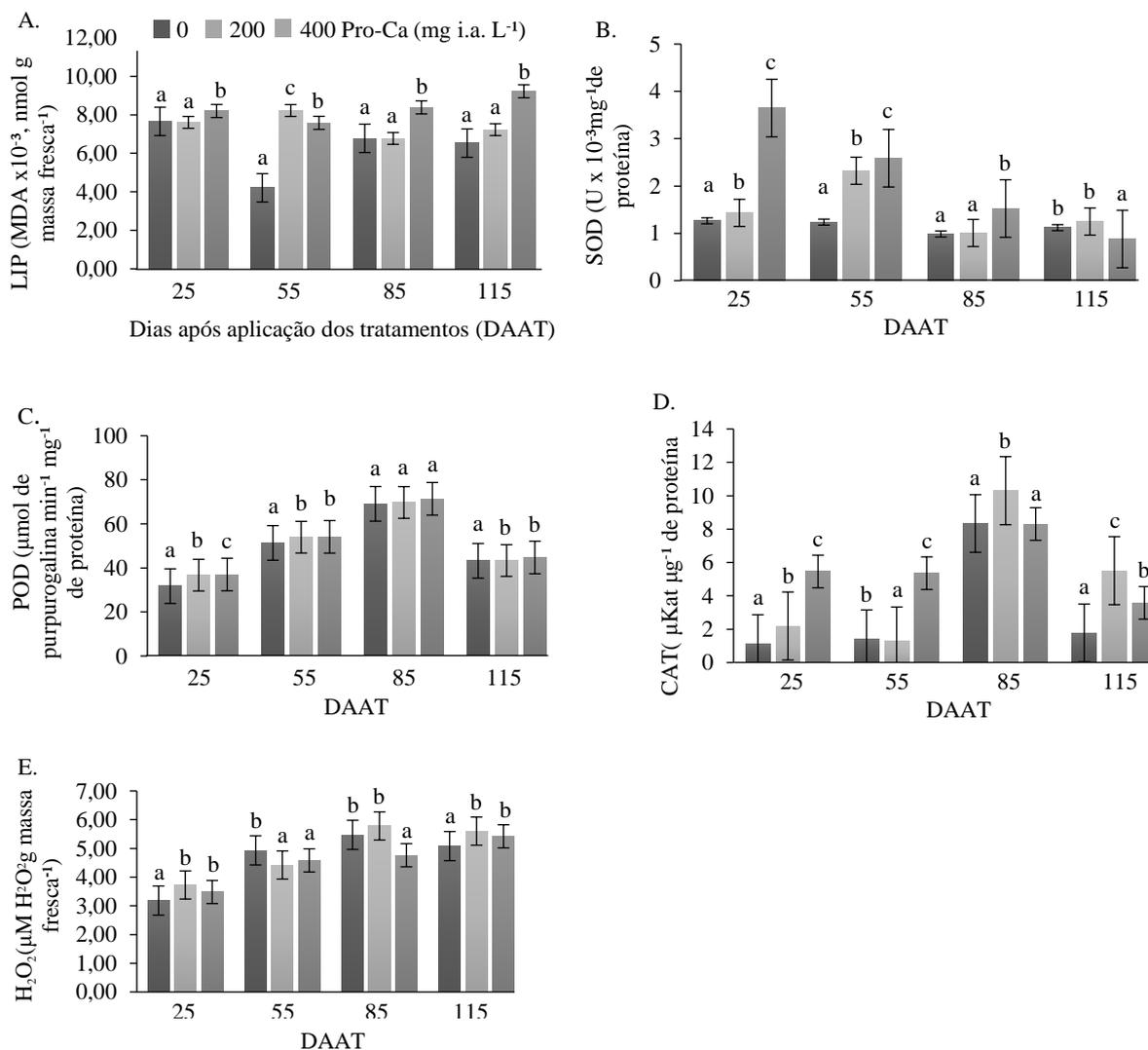


Figura 4. Peroxidação de lipídios (MDA x 10⁻³, nmol g massa fresca⁻¹) (A); atividades das enzimas superóxido dismutase (SOD x 10⁻³, U mg de proteína) (B); peroxidase (POD, μmol de purpurogalina min⁻¹ mg⁻¹ de proteína) (C); catalase (CAT, μKat μg⁻¹ de proteína) (D) e peróxido de hidrogênio por grama de massa fresca (μM H₂O₂ g massa fresca⁻¹) (E) aos 25, 55, 85 e 115 dias após aplicação dos tratamentos (DAAT) em plantas de tomateiro ‘Santy’ oriundas de mudas tratadas com diferentes concentrações de Prohexadiona cálcica (ProCa). Médias comparadas dentro de cada dia de avaliação, agrupadas pelo teste Skott Knott ao nível de 5% de significância

O estresse identificado após o transplante das mudas também pôde ser detectado pela atividade enzimática e pelas concentrações de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (Figuras 4B, 4C, 4D e 4E). As plantas que receberam as concentrações de ProCa ainda na fase de mudas, apresentaram, geralmente, maior atividade enzimática em relação àquelas que não receberam o regulador vegetal. Esse comportamento também foi observado por Dragišić Maksimović et al. (2017) em plantas de *Rubus idaeus* L. tratadas com ProCa, onde as enzimas superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD) e catalase (CAT) tiveram suas atividades intensificadas. O sistema enzimático de combate as ROS atuam em cadeia, onde o produto da reação de uma enzima é utilizado como substrato para a reação das demais (Contiguiba et al., 2013),

removendo, desta forma, as ROS. No presente estudo, vale destacar que as plantas em campo também estavam suscetíveis aos estresses bióticos, o que certamente se somou ao estresse oxidativo, causado, possivelmente também pela aplicação de ProCa.

Não foi identificado efeito significativo das concentrações de ProCa para o número de frutos comerciais e não comerciais, para a massa fresca de frutos comerciais e não comerciais, assim como, para a produtividade por planta (Tabela 4). O híbrido utilizado possui alto potencial produtivo, o que proporcionou um alto número de frutos com padrão comercial, em relação ao número de frutos não comerciais, que foi considerado neste estudo, frutos com presença de deformações, injúrias causadas por patógenos e calibre inferior a 50 milímetros. O mesmo comportamento foi seguido pela massa fresca dos frutos para as duas variáveis de massa. A produtividade por planta também apresentou desempenho satisfatório, com os dois tratamentos e o controle apresentando valores totais acima de 2,8 kg.

Tabela 4. Médias do número de frutos comerciais (NFC), número de frutos não-comerciais (NFNC), massa fresca de frutos comerciais (MFC, em kg), massa de fresca de frutos não-comerciais (MFNC, em kg) e produtividade (em kg planta⁻¹) de plantas de tomateiro híbrido Santy® oriundas de mudas tratadas com diferentes concentrações de Prohexadiona cálcica (ProCa).

Pro-Ca	NFC	NFNC	MFC (kg)	MFNC (kg)	Produtividade (kg planta ⁻¹)
0	119,25	5,20	227,96	0,85	2,88
200	116,17	6,21	227,88	1,09	2,84
400	121,62	6,18	227,56	1,11	2,81
cv (%)	9,55	15,09	10,10	15,45	9,49

Médias agrupadas pelo teste Skott Knott ao nível de 5% de significância

Dados semelhantes foram encontrados por Becker et al. (2020) em mudas de morangueiro (*Fragaria x ananassa* D) tratadas com ProCa, na qual não observaram variação significativa após o transplante para o número de frutos por planta, massa fresca de frutos por planta e massa média de frutos. Ainda com mudas de morangueiro, Reekie et al. (2005) afirmam que o baixo nível residual do ProCa não compromete os fatores produtivos da planta após o transplante, atuando apenas no controle do crescimento. Carra et al. (2016) em pereira (*Pyrus* spp.) tratada com ProCa não apresentaram diferença estatística para as variáveis de produção e produtividades no primeiro ano de avaliação. Adicionalmente, os mesmos autores observaram aumento para as variáveis estudadas no segundo ano de avaliação. Resultados positivos relacionando ao uso de ProCa e fatores produtivos também foram encontrados por Ramírez et al. (2016) em plantas de pimenta habanero (*Capsicum chinense* J.) onde relataram incremento de até 17% na produção de frutos em relação ao controle para concentrações de até 175 mg L⁻¹. Os mesmos autores apontam que as plantas, em resposta à redução do crescimento vegetativo

proporcionado pelas concentrações de ProCa, foram induzidas a uma maior produção de botões florais, devido ao aumento nas taxas de citocininas nos tecidos meristemáticos (Ramírez et al., 2010).

As concentrações de ProCa mantiveram proporcionais as porcentagens de frutos em relação a cada medida de diâmetro, não sendo constatado diferença significativa entre os tratamentos e o controle (Tabela 5). Para as plantas de tomateiro originárias de mudas tratadas com o regulador vegetal, foi possível constatar que independente da aplicação de ProCa, a maior porcentagem de frutos apresentou diâmetro igual ou maior a 80 mm, sendo essa uma característica marcante do híbrido utilizado. Em pereira, Carra et al. (2016) também não observaram variação significativa para o diâmetro de frutos, após a aplicação de ProCa em concentrações de 0 a 400 mg L⁻¹.

Tabela 5. Distribuição de frutos de tomateiro híbrido Santy® por diâmetro em milímetros (mm) oriundas de mudas rtratadas com diferentes concentrações de Prohexadiona cálcica (ProCa), segundo as Normas de Classificação do Tomate (CQH/CEAGESP, 2003)

Pro-Ca	Diâmetro de frutos*(mm)			
	50	60	70	≥80
0	0,86	13,73	27,10	58,29
200	1,09	11,48	31,37	56,04
400	1,80	14,56	32,31	51,31
CV (%)	49,18	32,90	18,94	13,06

Médias agrupadas pelo teste Skott Knott ao nível de 5% de significância * Dados transformados em $\text{arc sen}\sqrt{(x = 0,5) / 100}$

A aplicação de ProCa ainda na fase de mudas em concentrações de 200 e 400 mg L⁻¹ (i.a), possivelmente não afetou os níveis de giberelinas (GA) nos frutos de tomateiro, não impactando no desenvolvimento dos mesmos e não comprometendo o processo de transporte de fotoassimilados das fontes para os frutos, que nesta etapa fenológica, representam os principais drenos das plantas. Taiz et al. (2017) descrevem as GA como hormônios vegetais que possuem diversas funções ao longo do ciclo fenológico das plantas, entre estas funções, está o alongamento celular, atuando sobretudo no crescimento dos frutos. Nesse sentido, a aplicação de altas concentrações de ProCa em fases mais próximas do estágio fenológico de enchimento de frutos pode comprometer o desenvolvimento dos frutos, como observado por Silveira (2015), o qual após a aplicação de ProCa em macieiras (*Malus domestica* B.), observou redução no diâmetro dos frutos de aproximadamente 7% em relação ao controle para a dose de 495 mg L⁻¹. Para o autor, a alta concentração do regulador vegetal acarretou em decréscimo nos níveis de GA ativas nos frutos, comprometendo a ação deste hormônio no alongamento das células do parênquima cortical na região apical e mediana dos frutos de maçã.

Quando se avaliou os parâmetros físico-químicos dos frutos de tomate, ficou constatado que o ProCa proporcionou valores equivalentes para o potencial hidrogeniônico (pH), sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e a relação entre sólidos solúveis e acidez titulável (*Ratio*) em comparação ao controle (Tabela 6). Corroborando com os dados apresentados, Würz et al. (2020) não observaram variação significativa para as variáveis de pH, sólidos solúveis e acidez titulável em videiras (*Vitis vinifera* L.) após a aplicação de ProCa, em relação ao controle. A aplicação de ProCa também não influenciou a acidez titulável em goiaba (*Psidium guajava* L.) (Chang, 2016) e em laranja (*Citrus sinensis* L.) (Rehman et al., 2018). Pasa & Einhorn (2017) não identificaram variação nos valores de sólido solúveis e acidez titulável em plantas de pera (*Pyrus communis*) tratadas com ProCa. O mesmo comportamento também foi observado por Carra et al. (2016) em peras.

Tabela 6. Valores médios do potencial hidrogeniônico (pH), teor de sólidos solúveis (SS, em °Brix), acidez titulável (AT, % de ácido cítrico 100 g⁻¹ de polpa) e relação SS/AT de frutos de plantas de tomateiro híbrido Santy® oriundas de mudas tratadas com diferentes concentrações de Prohexadiona cálcio (ProCa).

Pro-Ca	pH	SS (°Brix)	AT (% ac cítrico 100 g ⁻¹ polpa)	SS/AT (<i>Ratio</i>)
0	4,4	4,33	0,36	12,48
200	4,5	4,42	0,37	11,68
400	4,4	4,52	0,37	12,03
cv (%)	1,3	7,09	5,62	8,00

Médias agrupadas pelo teste Skott Knott ao nível de 5% de significância

Valores de pH considerados ideais para frutos de tomates devem estar compreendidos entre 3,9 e 4,9 (David & Hobson, 1981), o que corrobora com os valores observados no presente trabalho. A acidez presente em frutos de tomate é atribuída pela presença dos ácidos orgânicos málico e cítrico, sendo este último, o de maior abundância (Bertin & Génard, 2018). Adicionalmente, esta acidez é resultado, principalmente, do metabolismo do malato e citrato no próprio fruto, sendo acumulados nos vacúolos, resultado de complexas interações metabólicas (Etienne et al., 2013), as quais nos permitem inferir que não sofreram qualquer influência de ProCa aplicado precocemente, não afetando os atributos de qualidade dos frutos de tomate.

2.4 CONCLUSÕES

As concentrações de prohexadiona cálcica (ProCa) foram eficientes no controle do crescimento de mudas de tomateiro em todas as concentrações aplicadas.

Não houve alteração no desenvolvimento fenológico nas plantas de tomateiro oriundas de mudas tratadas com ProCa.

Os parâmetros fisiológicos relacionados à fotossíntese não foram afetados pelo uso de ProCa.

As concentrações de ProCa ocasionaram moderado estresse nas plantas de tomateiro oriundas de mudas tratadas com ProCa, não comprometendo o desenvolvimento fisiológico das mesmas.

Plantas de tomateiro oriundas de mudas tratadas com ProCa não apresentaram variações significativas nos aspectos produtivos e na qualidade dos frutos.

2.5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, campus de Botucatu e a todos seus servidores, que contribuíram para o desenvolvimento desse trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos para o primeiro autor.

À Empresa Sakata Seeds Sudamérica pela doação das sementes utilizadas nos experimentos.

Ao povo brasileiro, financiadores de um ensino público, gratuito e de qualidade.

2.6 LITERATURA CITADA

Altintas, S. Effects of prohexadione-calcium with three rates of growth of tomato. *African Journal of Biotechnology*, v.10, n.75, p.17142-17151, 2011. <https://doi.org/10.5897/AJB11.2594>.

Barreto, C.F.; Ferreira, L.V.; Costa, S.I.; Schiavon, A.V.; Becker, T.B.; Vignolo, G.K.; Antunes, L.E.C. Concentration and periods of application of prohexadione calcium in the growth of strawberry seedlings. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 39, n.5, p. 1937-1944, 2018. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2018v39n5p1937>.

Becker, T.B.; Schiavon, A.V.; Delazeri, E.E.; Barreto, C.F.; Antunes, L.E.C. Productive behavior of strawberry from potted seedlings produced with application of prohexadione calcium in soilless cultivation. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, v. 3, n. 1, p. 309-318, 2020. <http://dx.doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i4.2097>.

Bertin, N.; Génard, M. Tomato quality as influenced by preharvest factors. *Scientia Horticulturae*, v. 233, n. 3, p. 264-274, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.056>.

Carra, B.; Spagnol, D.; Abreu, E.S.D.; Pasa, M.D.S.; Silva, C.P.D.; Hellwig, C.G.; Fachinello, J. C. Prohexadione calcium reduces vegetative growth and increases fruit set of 'Smith' pear trees, in Southern Brazil. *Bragantia*, v.76, n.3, p. 360-371, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.298>.

Chang, P.T. Influence of Prohexadione-Calcium on the growth and quality of summer 'Jen-Ju Bar' guava fruit *Journal of plant growth regulation*, v.35, n.4, p.980-986, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s00344-016-9596-z>.

Cocco, C.; Gonçalves, M.A.; Picolotto, L.; Ferreira, L.V.; Antunes, L.E.C. Crescimento, desenvolvimento e produção de morangueiro a partir de mudas com diferentes volumes de torrão. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v.34, n.4, p.919-927, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-2945-250/14>.

Dragišić Maksimović, J.J.; Poledica, M.M.; Radivojević, D.D.; Milivojević, J.M. Enzymatic profile of 'Willamette' raspberry leaf and fruit affected by Prohexadione-Ca and young canes removal treatments. *Journal of agricultural and food chemistry*, v.65, n.24, p. 5034-5040, 2017. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00638>.

Espindula, M.C.; Rocha, V.S.; Souza, L.T.D.; Souza, M.A.D.; Grossi, J.A.S. Efeitos de reguladores de crescimento na elongação do colmo de trigo. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v.32, n. 1, p. 09-116, 2010. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v32i1.94310.4025/actasciagron.v32i1.943>.

Etienne, A.; Génard, M.; Lobit, P.; Mbéguié-A-Mbéguié, D.; Bugaud, C. What controls fleshy fruit acidity? A review of malate and citrate accumulation in fruit cells. *Journal of experimental botany*, v.64, n.6, p.1451-1469, 2013. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert035>.

Giannakoula, A.; Ilias, I. Chlorophyll fluorescence and photosystem II activity of tomato leaves as affected by irradiance and prohexadione-calcium. In: *Wseas International Conference on Renewable Energy Source*. Arcachon: World Scientific and Engineering Academy and Society,

2007, p. 49-56.
https://www.researchgate.net/profile/Anastasia_Giannakoula/publication/255599563_Chlorophyll_Fluorescence_and_Photosystem_II_Activity_of_Tomato_Leaves_as_Affected_by_Irradiance_and_ProhexadioneCalcium/links/5432be770cf22395f29c3e72/Chlorophyll-Fluorescence-and-Photosystem-II-Activity-of-Tomato-Leaves-as-Affected-by-Irradiance-and-Prohexadione-Calcium.pdf. 25 Feb. 2020.

Kim, H.M.; Lee, H.R.; Kang, J.H.; Hwang, S.J. Prohexadione-Calcium Application during Vegetative Growth Affects Growth of Mother Plants, Runners, and Runner Plants of Maehyang Strawberry. *Agronomy*, v. 9, n. 3, p.155-167, 2019. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030155>.

Krause, G.H.; Weis, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. *Annual Review Plant Physiology. Plant Molecular Biology*, v.42, n. 1, p.313-349, 1991. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.42.060191.001525>.

Medjdoub, R.; Val, J.; Blanco, A. Physiological effects of prohexadione-calcium in apple trees: effects on parameters related to photoproductivity. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, v. 82, n. 1, p. 126-132, 2007. <https://doi.org/10.1080/14620316.2007.11512209>.

Ouzounidou, G.; Giannakoula, A.; Asfi, M.; Ilias, I. Differential responses of onion and garlic against plant growth regulators. *Pakistan Journal of Botany*, v.43, p.2051-2057, 2011.

Ozbay, N.; Ergun, N. Prohexadione calcium on the growth and quality of eggplant seedlings. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 50, n. 10, p.932-938, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2015001000009>.

Ozbay, N.; Metin, R. (2016). Prohexadione-calcium affects vegetative growth and yield of pepper. In VII International Scientific Agriculture Symposium, "Agrosym 2016", 6-9 October 2016, Jahorina, Bosnia and Herzegovina. Proceedings (pp. 446-453). University of East Sarajevo, Faculty of Agriculture.

Pasa, M.D.S.; Einhorn, T. Prohexadione calcium on shoot growth of 'Starkrimson' pear trees. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.52, n.2, p.75-83, 2017. <https://doi.org/10.1590/s0100-204x2017000200001>.

Pereira, I. dos S.; Gonçalves, M.A.; Picolotto, L.; Vignolo, G.K.; Antunes, L.E.C. Controle do crescimento de mudas de morangueiro 'Camarosa' cultivadas em substrato comercial pela aplicação de prohexadione cálcio. *Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, v.59, n.1, p. 93-98, 2016. <http://dx.doi.org/10.4322/rca.2126>.

Ramírez, H.; Amado-Ramírez, C.; Benavides-Mendoza, A.; Robledo-Torres, V.; Martínez-Osorio, A. Prohexadione-Ca, AG3, ANOXA y BA modifican indicadores fisiológicos y bioquímicos en chile Mirador. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, v.16, n.2, p.83-89, 2010. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1027-152X2010000200003. 15. Jul. 2020.

Ramírez, H.; Mendoza-Castellanos, J.; Ramírez-Pérez, L.J.; Rancaño-Arrijoja, J.H.; Zavala-Ramírez, M.G. Prohexadione-Ca provokes positive changes in the growth and development of habanero pepper. *Journal of Applied Horticulture*, v.18, n.1, p.7-11, 2016.

http://horticultureresearch.net/journal_pdf/ProhexadioneCa%20provokes%20positive%20changes%20in%20the%20growth%20and%20development%20of%20habanero%20pepper.pdf.
23. Jul.2020.

Ramírez, H.; Peralta-Manjarrez, R. M.; Benavides-Mendoza, A.; Sánchez-López, A.; Robledo-Torres, V.; Hernández-Dávila, J. Efectos de prohexadiona-Ca en tomate y su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, v.11, n.2, p. 283-290, 2005.

Rachmilevitch, S. Physiological and biochemical indicator for stress tolerance. *Plant-environment interactions*, p.321-356, 2006. <https://doi.org/10029300702/>.

Reekie, J.Y.; Hicklenton, P.R.; Struik, P.C. Prohexadione-calcium modifies growth and increases photosynthesis in strawberry nursery plants. *Canadian Journal of Plant Science*, v.85, n.3, p.671-677, 2005. <https://doi.org/10.4141/P04-113>.

Rehman, M.; Singh, Z.; Khurshid, T. Pre-harvest spray application of prohexadione-calcium and paclobutrazol improves rind colour and regulates fruit quality in M7 Navel oranges. *Scientia Horticulturae*, v.234, p.87-94, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.018>.

Rezapour Fard, J.; Kafi, M.; Naderi, R. The Enhancement of Drought Stress Tolerance of Kentucky Bluegrass by Prohexadione-Calcium Treatment. *Journal of Ornamental Plants*, v. 5, n. 4, p.197-204, 2015. http://jornamental.iaurasht.ac.ir/article_517021_7493e923927bc323dea206e1b5ae7006.pdf.
17 Mar. 2020.

Silveira, J. P. G. (2015). *Qualidade e distúrbios fisiológicos de maçãs em resposta a giberelinas e proexadiona-cálcio*. Lages: Universidade do Estado de Santa Catarina, 2015. 139p. Tese Doutorado.

Taiz, L.; Zeiger, E.; Møller, I.M.; Murphy, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6ª ed. Porto Alegre, Artmed. 2017. 858p.

Thomidis, T.; Zioziou, E.; Koundouras, S.; Navrozidis, I.; Nikolaou, N. Effect of prohexadione-Ca on leaf chlorophyll content, gas exchange, berry size and composition, wine quality and disease susceptibility in *Vitis vinifera* L. cv Xinomavro. *Scientia horticulturae*, v. 238, p.369-374, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.05.008>.

Würz, D.A.; Marcon Filho, J.L.; Allebrandt, R.; Brighenti, A.F.; de Bem, B.P.; Rufato, L.; Kretschmar, A. A. Desempenho agronômico da videira ‘Cabernet Sauvignon’ submetida a diferentes épocas de aplicação e concentrações de Prohexadiona de Cálcio. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v.19, n.1, p.8-15, 2020. <https://doi.org/10.5965/223811711912020008>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de prohexadiona cálcio (ProCa) no controle do crescimento vegetativo já é uma prática agronômica muito difundida em espécies frutíferas. Entretanto, nos últimos anos, o regulador vegetal também tem sido usado em espécies olerícolas com o objetivo de reduzir o tamanho das plantas em campo. Em espécies que são produzidas a partir de mudas, como o tomateiro, pesquisas surgiram para elucidar a aplicabilidade e seus efeitos em mudas, impedindo que cresçam rápido, acarretando no estiolamento das mesmas. Entretanto, ainda são escassos os trabalhos que avaliaram os efeitos do regulador vegetal em mudas, não somente em relação ao crescimento, mas também seu reflexo nas plantas em campo, em sua fenologia, fisiologia, produção e qualidade. Neste sentido, este trabalho proporcionou maior esclarecimento dos diferentes efeitos da aplicação de ProCa em mudas, abrangendo todo o ciclo produtivo da cultura, para tentar responder perguntas como: quando aplicar? Quanto aplicar? Impactará no transplântio, no desenvolvimento da planta em campo, sua produção e qualidade dos frutos?

Em nosso estudo foi possível avaliar os efeitos do ProCa nas mudas de tomateiro, onde constatamos que seu uso inibiu a biossíntese de giberelinas, em todas as concentrações utilizadas, sendo o comprimento do caule a variável que melhor demonstrou a eficácia do regulador vegetal na inibição do crescimento das plantas. Neste ponto, é importante ressaltar que o uso do regulador vegetal possuiu objetivo específico, o qual proporcionou resultados diretos e conclusivos.

Foi possível aferir que as concentrações de ProCa não afetaram os aspectos fotossintéticos, aferidos pelas análises de fluorescência da clorofila *a* e trocas gasosas, indicando que o regulador vegetal não comprometeu os fotossistemas, permitindo que as mudas se desenvolvessem normalmente. É importante destacar que em espécies cultivadas que são tratadas com produtos de ação fisiológica, a preservação do aparato fotossintético é necessária para a garantia de condições as quais as plantas poderão reduzir o CO₂ atmosférico e iniciar os processos de transformação de energia luminosa em energia química, o que mantém além do desenvolvimento vegetativo e, associado a outros fatores, a manutenção de níveis esperados de produção.

A aplicação de ProCa levou as mudas a uma condição de estresse moderado, evidenciada pela peroxidação lipídica e pela atividade das enzimas antioxidantes.

Houve manutenção do equilíbrio entre as espécies reativas de oxigênio e a ação do sistema antioxidante, impedindo danos celulares, que comprometeriam o vigor das mudas. Acreditamos que, em futuros trabalhos, fatores como a espécie estudada e, principalmente, as concentrações utilizadas podem apresentar diferentes respostas nas plantas em relação ao estresse eventualmente causado, por isso, dois dos principais fatores a serem levados em consideração para a utilização de ProCa em espécies cultivadas podem ser o momento de aplicação e a concentração utilizada. Visto que, o não conhecimento da melhor forma de utilização poderá impactar negativamente no desenvolvimento e produtividade da espécie em foco.

Após o transplante, as concentrações de ProCa aplicadas ainda na fase de mudas não interferiram na fenologia das plantas que apresentaram crescimento padrão sem alterar o período até o florescimento, mantendo assim, seu desenvolvimento normal. Na fotossíntese, a manutenção da atividade fotossintética garantiu que as plantas se desenvolvessem plenamente, permitindo o fluxo dos fotossintatos até os frutos, os quais também não foram afetados pelo ProCa, sendo esta uma das principais respostas levantadas por este trabalho. A qualidade dos frutos também foi mantida, demonstrando que o regulador vegetal não interfere em aspectos importantes de pós-colheita, tais como pH, teor de sólidos solúveis (SS), acidez titulável (AT) e a relação SS/AT. Atribuímos estes resultados à precocidade da aplicação de ProCa, sendo seu baixo nível residual responsável pela ausência de alterações nas principais variáveis analisadas após o transplante.

Destacamos que nas condições apresentadas, a aplicação de ProCa proporcionou redução do crescimento vegetativo nas mudas de tomateiro, impedindo o estiolamento das mesmas, não interferindo no desenvolvimento das plantas em campo. Ressaltamos que, futuros estudos são necessários com outras espécies, outras formas de aplicação, diferentes momentos de aplicação e diferentes concentrações, tanto abaixo quanto acima das estudadas neste trabalho, além de estudo de outras variáveis, sobretudo bioquímicas para o melhor conhecimento de sua ação e reflexo nas plantas, contribuindo para a tomada de decisão de produtores e, principalmente, viveiristas, sendo a etapa de produção de mudas, uma das mais importantes fases e que pode impactar diretamente no desempenho da cultura.

REFERÊNCIAS

- ALTINTAS, S. Effects of prohexadione-calcium with three rates of growth of tomato. **African Journal of Biotechnology**, Lagos, v.10, n.75, p.17142-17151, 2011. Disponível em: file:///C:/Users/55149/Downloads/97810-Article%20Text-255768-1-10-20131129%20(1).pdf. Acesso em: 16 mar. 2019.
- ALVARENGA, M.A.R. **Tomate: produção em campo, casa de vegetação e hidroponia**. 2 ed. rev. e ampl. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.
- BARBOSA, M.R.; de ARAÚJO SILVA, M.M.; WILLADINO, L.; ULISSES, C.; CAMARA, T. R. Geração e desintoxicação enzimática de espécies reativas de oxigênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, p.453-460, 2014.
- BARREIROS, A.L.; DAVID, J.M.; DAVID, J.P. Estresse oxidativo: relação entre geração de espécies reativas e defesa do organismo. **Química nova**, São Paulo, v.29, n.1, p. 113-123, 2006.
- BARRETO, C.F.; FERREIRA, L.V.; COSTA, S.I.; SCHIAVON, A.V.; BECKER, T.B.; VIGNOLO, G.K.; ANTUNES, L.E.C. Concentration and periods of application of prohexadione calcium in the growth of strawberry seedlings. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 39, n.5, p. 1937-1944, 2018.
- BECKER, T.B.; SCHIAVON, A.V.; DELAZERI, E.E.; BARRETO, C.F.; ANTUNES, L.E.C. Productive behavior of strawberry from potted seedlings produced with application of prohexadione calcium in soilless cultivation. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, United Arab Emirates, v.3, n.1, p. 309-318, 2020. Disponível em: <http://www.ejfa.me/index.php/journal/article/view/2097/1343>. Acesso em: 23 abr. 2020.
- BENZIE, I.F.F. Lipid peroxidation: a review of causes, consequences, measurements and dietary influences. **Int. J. Food Sci. Nut**, v.47, p.233-261, 1996.
- BIANCHI, M. L. P.; ANTUNES, L. M. G. Radicais livres e os principais antioxidantes da dieta. **Revista de Nutrição**. Campinas, v. 12, n. 2, p. 123-130, 1999. Disponível em: <https://www.greenme.com.br/wp-content/uploads/2017/09/v12n2a01.pdf>. Acesso em 11 mar. 2020.
- CARRA, B.; SPAGNOL, D.; ABREU, E.S.D.; PASA, M.D.S.; SILVA, C.P.D.; HELLWIG, C.G.; FACHINELLO, J. C. Prohexadione calcium reduces vegetative growth and increases fruit set of 'Smith'pear trees, in Southern Brazil. **Bragantia**, Campinas, v.76, n.3, p. 360-371, jun. 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0006-87052017005011101&script=sci_arttext. Acesso em: 20 jan. 2020.
- CHANG, P.T. Influence of Prohexadione-Calcium on the growth and quality of summer 'Jen-Ju Bar'guava fruit **Journal of plant growth regulation**, Switzerland, v.35, n.4, p.980-986, mar. 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00344-016-9596-z>. Acesso em: 10 fer. 2020.

CHARLO, H.C.D.O.; SOUZA, S.D.C.; CASTOLDI, R.; BRAZ, L.T. Desempenho e qualidade de frutos de tomateiro em cultivo protegido com diferentes números de hastes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 2, p. 144-149, 2009.

COTINGUIBA, G.G.; SILVA, J.R.N.; AZEVEDO, R.R.S.; ROCHA, T.J.M.; SANTOS, A.F. Método de avaliação da defesa antioxidante: uma revisão de literatura. **UNOPAR Científica. Ciência Biológica e Saúde**, Londrina, v. 15, n. 3, p. 231-237, 2013.

ESPINDULA, M.C.; ROCHA, V.S.; SOUZA, L.T.D.; SOUZA, M.A.D.; GROSSI, J.A.S. Efeitos de reguladores de crescimento na alongação do colmo de trigo. **Acta Scientiarum. Agronomy**, Maringá, v.32, n. 1, p. 09-116, mar. 2010. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1807-86212010000100016&script=sci_arttext. Acesso em 12 mar. 2020.

FAGAN, E.B.; ONO, E.O.; RODRIGUES, J.D.; CHALFUN JÚNIOR, A.; Dourado Neto, D. **Fisiologia vegetal: Reguladores Vegetais**. Primeira edição. São Paulo: Andrei, p. 302, 2015.

FAOSTAT. **Countries by commodity 2017**. Disponível em: http://fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity. Acesso em: 11 jun. 2020.

FAYAD, J.A.; FONTES, P.C.R.; CARDOSO, A.A.; FINGER, F.L.; FERREIRA, F.A. Crescimento e produção do tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 3, p. 232-237, 2001.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3 ed. Viçosa: UFV, 2013. 421p.

GIANNAKOULA, A.; ILIAS, I. **Chlorophyll fluorescence and photosystem II activity of tomato leaves as affected by irradiance and prohexadione-calcium**. In: Wseas International Conference on Renewable Energy Source. Arcachon: World Scientific and Engineering Academy and Society, 2007, p. 49-56. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Anastasia_Giannakoula/publication/255599563_Chlorophyll_Fluorescence_and_Photosystem_II_Activity_of_Tomato_Leaves_as_Affected_by_Irradiance_and_ProhexadioneCalcium/links/5432be770cf22395f29c3e72/Chlorophyll-Fluorescence-and-Photosystem-II-Activity-of-Tomato-Leaves-as-Affected-by-Irradiance-and-Prohexadione-Calcium.pdf. Acesso em 25 fev. 2020.

GILL, S.S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant physiology and biochemistry**, U.S.A., v.48, n.12, p 909-930, 2010.

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.

HACHMANN, T.L. **Características agrônomicas e índices de trocas gasosas do tomateiro em função de sistemas de condução em ambiente protegido**. 2015. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2015.

HACHMANN, T.L.; ECHER, M.D.M.; DALASTRA, G.M.; VASCONCELOS, E.S.; GUIMARÃES, V.F. Cultivo do tomateiro sob diferentes espaçamentos entre plantas e diferentes níveis de desfolha das folhas basais. **Bragantia**, v. 73, n. 4, p.399-406, 2014.

HIRAGA, S.; SASAKI, K.; ITO, H.; OHASHI, Y.; MATSUI, H. A large family of class III plant peroxidases. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v.42, n.5, p.462-468, 2001.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Culturas temporárias e permanentes** 2017. 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticasnovoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9117-producao-agricola-municipal-culturastemporarias-e-permanentes.html?=&t=o-que-e> . Acesso em: 09 jun. 2020.

ILIAS, I.F.; RAJAPAKSE, N. Prohexadione-calcium affects growth and flowering of petunia and impatiens grown under photoselective films. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.106, p.190-202, 2005.

KARUPPANAPANDIAN, T.; MOON, J.C.; KIM, C.; MANOHARAN, K.; KIM, W. Reactive oxygen species in plants: their generation, signal transduction, and scavenging mechanisms. **Australian Journal of Crop Science**, Australia, v.5, n.6, p.709-725, 2011. Disponível em: <https://search.informit.com.au/documentSummary;dn=282079847301776;res=ielhss>. Acesso em: 11 mai. 2020.

KIM, H.M.; LEE, H.R.; KANG, J.H.; HWANG, S.J. Prohexadione-Calcium Application during Vegetative Growth Affects Growth of Mother Plants, Runners, and Runner Plants of Maehyang Strawberry. **Agronomy**, v. 9, n. 3, p.155-167, 2019.

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

KRAUSE, G.H.; WEIS, E. Chlorophyll fluorescence and photosynthesis: the basics. **Annual Review Plant Physiology. Plant Molecular Biology**, Switzerland, v.42, n. 1, p.313-349, 1991.

MAGGIONI, M.S.; ROSA, C.B.C.J.; ROSA JUNIOR, E.J.; SILVA, E.F.; ROSA, Y.B.C. J.; SCALON, S.P.Q.; VASCONCELOS, A.A. Desenvolvimento de mudas de manjeriço (*Ocimum basilicum* L.) em função do recipiente e do tipo e densidade de substratos. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Paulínia, v. 16, n. 1, p. 10-17, 2014.

MEDJDOUB, R.; VAL, J.; BLANCO, A. Physiological effects of prohexadione-calcium in apple trees: effects on parameters related to photoproductivity. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, San Diego, v. 82, n. 1, p. 126-132, abr. 2007. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14620316.2007.11512209>. Acesso em 25 jul. 2020.

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

OUZOUNIDOU, G.; GIANNAKOULA, A.; ASFI, M.; ILIAS, I. Differential responses of onion and garlic against plant growth regulators. **Pakistan Journal of Botany**, Karachi, v.43, p.2051-2057, 2011.

OWENS, C.L.; STOVER, E. Vegetative growth and flowering of young apple trees in response to prohexadione-calcium. **Horticultural Science**, Czech Republic, v.34, p.1194–1196, 1999.

OZBAY, N.; ERGUN, N. Prohexadione calcium on the growth and quality of eggplant seedlings. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 50, n. 10, p.932-938, 2015.

PASA, M.D.S.; EINHORN, T. Prohexadione calcium on shoot growth of 'Starkrimson' pear trees. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.52, n.2, p.75-83, 2017.

PEIXOTO, J.V.M.; DE MORAES, E.R.; PEIXOTO, J.L.M.DOS REIS NASCIMENTO, A.; NEVES, J.G. Tomaticultura: aspectos morfológicos e propriedades físico-químicas do fruto. **Revista Científica Rural**, Bagé, v. 19, n.1, p. 124-131, 2017.

PEREIRA, I. DOS S.; GONÇALVES, M.A.; PICOLOTTO, L.; VIGNOLO, G.K.; ANTUNES, L.E.C. Controle do crescimento de mudas de morangueiro 'Camarosa' cultivadas em substrato comercial pela aplicação de proexadione cálcio. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, Belém, v.59, n.1, p. 93-98, 2016.

PURQUÉRIO, L.F.V.; TIVELLI, S.W. Cultivo protegido: por que utilizar, manejo do ambiente e cuidados com a fertilização? In: ZAMBROSI, F. C. B., FIGUEIREDO, G. B. de; PURQUERIO, L. F. V. et al. **Projeto hortalimento e o cultivo em ambiente protegido**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2014, p. 10-31. Disponível em: http://www.iac.sp.gov.br/publicacoes/publicacoes_online/pdf/Livro_Hortalimento_Final_24_03_2014.pdf. Acesso em: 12 Jun. 2020.

RACHMILEVITCH, S. Physiological and biochemical indicator for stress tolerance. **Plant Environment Interactions**, p.321-356, 2006.

RADEMACHER, W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Suíça, v.51, p.501-531, 2000.

RAMÍREZ, H.; PERALTA-MANJARREZ, R.M.; BENAVIDES-MENDOZA, A.; SÁNCHEZ-LÓPEZ, A.; ROBLEDO-TORRES, V.; HERNÁNDEZ-DÁVILA, J. Efectos de prohexadiona-Ca en tomate y su relación con la variación de la concentración de giberelinas y citocininas. **Revista Chapingo Serie Horticultura**, Chapingo, v.11, n.2, p. 283-290, 2005.

REHMAN, M.; SINGH, Z.; KHURSHID, T. Pre-harvest spray application of prohexadione-calcium and paclobutrazol improves rind colour and regulates fruit quality in M7 Navel oranges. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.234, p.87-94, abr. 2018. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423818300931>. Acesso em: 12 mai. 2020.

REZAPOUR Fard, J.; KAFI, M.; NADERI, R. The Enhancement of Drought Stress Tolerance of Kentucky Bluegrass by Prohexadione-Calcium Treatment. **Journal of Ornamental Plants**, Rasht, v. 5, n. 4, p.197-204, 2015. Disponível em: http://jornamental.iaurasht.ac.ir/article_517021_7493e923927bc323dea206e1b5ae7006.pdf. Acesso em: 17 mar. 2020.

RICK, C.M. **The potential of exotic germplasm for tomato improvement**. In: VASIL, I. K.; SCOWCROFT, W. R.; FREY, H. J. (Eds.) Plant improvement and somatic cell genetics. New York: Academic Press, p. 478-495, 1982.

SELEGUINI, A.; DE ARAUJO FARIA JÚNIOR, M.J.; BENETT, K.S.S.; LEMOS, O.L. ; SENO, S. Estratégias para produção de mudas de tomateiro utilizando paclobutrazol. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.34, p. 539-548, 2013.

SILVA, J.M.D.; FERREIRA, R.S.; MELO, A.S.D.; SUASSUNA, J.F.; DUTRA, A.F.; GOMES, J. P. Cultivo do tomateiro em ambiente protegido sob diferentes taxas de reposição da evapotranspiração. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 17, n. 1, p.40-46, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6ª ed. Porto Alegre, Artmed. p. 858, 2017.

THOMIDIS, T.; ZIOZIOU, E.; KOUNDOURAS, S.; NAVROZIDIS, I.; NIKOLAOU, N. Effect of prohexadione-Ca on leaf chlorophyll content, gas exchange, berry size and composition, wine quality and disease susceptibility in *Vitis vinifera* L. cv Xinomavro. **Scientia horticulturae**, Amesterdã, v. 238, p.369-374, ago. 2018. Disponível em : <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423818303352>. Acesso em 9 mai. 2020.

United States Environmental Protection Agency, ECM for Prohexadione in Soil - MRID 45040301, Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2018-06/documents/45040301-prohexadione-ecm-soil.pdf>. Acesso em 28 out. 2020.

YESHITELA, T.; ROBBERTSE, P.J.; STASSEN, P.J.C. Paclobutrazol suppressed vegetative growth and improved yield as well as fruit quality of 'Tommy Atkins' mango (*Mangifera indica*) in Ethiopia. **New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science**, New Zealand, v.32, p.281-293, 2004.

YAMASAKI H.; SAKIHAMA Y.; LKEHARA, N. Flavonoid-Peroxidase Reaction as a Detoxification Mechanism of Plant Cells against H₂O₂. **Plant Physiology**, U.S.A., v.11, n.5, p.1405–1412, 1997.

WÜRZ, D.A.; MARCON FILHO, J.L.; ALLEBRANDT, R.; BRIGHENTI, A.F.; DE BEM, B.P.; RUFATO, L.; KRETZSCHMAR, A. A. Desempenho agronômico da videira 'Cabernet Sauvignon' submetida a diferentes épocas de aplicação e concentrações de Prohexadiona de Cálcio. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.19, n.1, p.8-15, 2020.

APÊNDICE A. Classificador em milímetros, de acordo com as Normas de Classificação do Tomate (CQH/CEAGESP, 2003) (Capítulo II)

