

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRÉ-TRATAMENTOS COM LUZ EM SEMENTES DE
TOMATEIRO PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA AO
DÉFICIT HÍDRICO**

**Joel Cabral dos Santos
Engenheiro Agrônomo**

2016

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRÉ-TRATAMENTOS COM LUZ EM SEMENTES DE
TOMATEIRO PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA AO
DÉFICIT HÍDRICO**

Joel Cabral dos Santos

Orientador: Prof. Dr. Rogério Falleiros Carvalho

Co-orientador: Dr. Vinicius Costa Galvão

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Produção Vegetal).

S237 Santos, Joel Cabral dos
p Pré-tratamentos com luz em sementes de tomateiro para indução
de tolerância ao déficit hídrico / Joel Cabral dos Santos. --
Jaboticabal, 2016
xiii, 83 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2016
Orientador: Rogério Falleiros Carvalho
Coorientador: Vinicius Costa Galvão
Banca examinadora: Davi Rodrigo Rossatto, Samira Domingues
Carlin Cavallari
Bibliografia

1. Embebição. 2. Fotorreceptores. 3. Germinação. I. Título. II.
Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.547.1:635.64

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação –
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

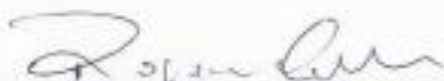
TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: PRÉ-TRATAMENTOS COM LUZ EM SEMENTES DE TOMATEIRO
PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO

AUTOR: JOEL CABRAL DOS SANTOS

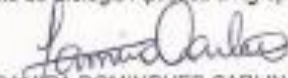
ORIENTADOR: ROGÉRIO FALLEIROS CARVALHO

COORDENADOR: VINICIUS COSTA GALVÃO

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


Prof. Dr. ROGÉRIO FALLEIROS CARVALHO
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Prof. Dr. DAVI RODRIGO ROSSATTO
Departamento de Biologia Aplicada à Agropecuária / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Profa. Dra. SAMIRA DOMINGUES CARLIN CAVALLARI
Centro Avançado de Pesquisa Tecnológica do Agronegócio do Cane / IAC - Ribeirão Preto/SP

Jaboticabal, 26 de fevereiro de 2016

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JOEL CABRAL DOS SANTOS – Filho de Maria do Desterro Santos, nascido em 22 de Setembro de 1987 no município de Zabelê-PB. Em 2007, ingressou no curso técnico em Agroindústria no Colégio Agrícola Vidal de Negreiros na Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campus de Bananeiras. Em 2010, iniciou a graduação em Agronomia na Universidade Federal da Paraíba – UFPB – Areia-PB. Foi bolsista PET (Programa de Educação Tutorial) entre os anos de 2010 à 2014. Entre os anos 2012 à 2014, fez estágio voluntário no PIVIC - CNPq (Programa Voluntário de Iniciação Científica) junto ao Laboratório de Biologia Celular e Cultura de Tecidos Vegetais no qual realizou seu trabalho de conclusão de curso, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo e em razão dele, o prêmio Láurea Acadêmica. Em Agosto de 2014, ingressou no programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal), da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Câmpus de Jaboticabal. Durante o período de realização do mesmo, foi bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

“Eu sou de uma terra que o povo padece
Mas não esmorece e procura vencer.
Da terra querida, que a linda cabocla
De riso na boca zomba no sofrer
Não nego meu sangue, não nego meu nome
Olho para a fome, pergunto o que há?
Eu sou brasileiro, filho do Nordeste,
Sou cabra da Peste, das banda de Cá”

Patativa do Assaré

A minha mãe (Maria do Desterro), aos meus sobrinhos: minha princesa Amanda, Ana Luísa, Ana Beatriz, Gustavo, Fernando e Flávio. Aos irmãos Dejailma, Janiel, Joelma e Deja. A minha companheira Leandra Barrozo

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A toda minha família, especialmente a minha amada mãe Maria do Desterro (Neném), por todo apoio e incentivo nas minhas escolhas, mesmo sem compreender muitas vezes o que de fato estou a fazer.

A minha companheira, Leandra Barrozo, por todo amor, carinho, atenção, paciência, compreensão, apoio e ajuda durante os anos que temos construído juntos, e claro por toda ajuda na construção deste trabalho.

Ao professor Dr. Rogério Falleiros Carvalho, por ter me recebido como seu orientado, pela oportunidade, paciência, pelos ensinamentos aqui recebidos e pela construção deste trabalho.

A família, Coletivo ATISSAR, Romério, Sandra, Anael, Anaely, Almir, Iago, Raphael, Lucas, Alan (e outros que por este coletivo já passaram) sem vocês, sem a força e sem os ensinamentos deste coletivo não teria eu chegado até aqui.

Aos orientadores da graduação Prof^a. Núbia e Prof. Jacinto, por todos os ensinamentos ao longo da graduação, pelos incentivos para que chegasse ao objetivo alcançado e por todos os conselhos para tomada de decisões.

A Edwin Gutierrez e Marina Gavassi por todo o apoio e atenção dado no momento que tanto precisei.

Antonio Márcio por toda sua amizade e companheirismo ao longo deste ano. Amizade que quero ter sempre em minha vida.

A todos que contribuíram de para este trabalho: Antônio Márcio, Edwin, Leandra, Elienay, Marina Gavassi, Lucas Gaion, Rodrigo, Natália.

Aos técnicos do Laboratório de Fisiologia Vegetal, Sônia, por toda ajuda, atenção, cuidado e carinho ao longo deste trabalho. Seu Jamil, por toda ajuda e cuidado com o material de estudo.

Aos companheiros do Laboratório de Fisiologia Vegetal e do Grupo de Estudos sobre Estresse abiótico em Plantas Cultivadas: Marina, Lucas, Flávio, Leonardo, Antônio, Rita, Letícia, Priscila, Patricia, Luis (Mancha), Gilmar, Rodrigo pelo apoio nas rotinas do laboratório e em todos os momentos em que eu precisei.

Aos amigos pelos bons momentos compartilhados em Jaboticabal: Antonio Márcio, Leonardo Correia, Gabriel Barbosa, Luiz Cláudio (Mancha), Paulo

Alexandre, Wallace Leite, Cid Campos, Rodolfo Lizcano, José Mauricio, Elienay Ferreira, Leandro Moda, Cláudio Ferreira (Claudão), Prof. Aguinaldo, Rafael Barreto, Gilberto Rostirolla, Edwin Gutierrez, Flor, Ezequias Correia, Cássio Nogueira.

A Renato Pereira e prof. Dr. Walter Esfrain por todo apoio e auxílio com as análises estatísticas.

Mileny (Mimi/Morena) pela amizade, pelos momentos dedicados a ouvir os meu lamentos.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Produção Vegetal) pela oportunidade concedida. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pela bolsa concedida.

Aos professores da FCAV/UNESP que contribuíram ao longo deste mestrado.

A todos aqueles que, direto ou indiretamente, colaboraram para que este trabalho fosse realizado.

SUMÁRIO

Página

RESUMO GERAL.....	xii
GENERAL ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO 1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	14
1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1. A espécie e sua importância agroeconômica.....	15
2.2. Déficit hídrico na agricultura.....	16
2.3. Germinação de sementes.....	17
2.4. Condicionamento fisiológico de sementes.....	18
2.4. Luz na germinação de sementes.....	22
3. REFERÊNCIAS.....	24
CAPÍTULO 2 - Hidrocondicionamento com diferentes qualidades de luz em sementes de tomateiro.....	38
RESUMO.....	38
ABSTRACT.....	39
1. INTRODUÇÃO.....	40
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	42
2.1. Tratamento com luz e a avaliação da germinação de sementes...	42
2.2. Avaliações da germinação de sementes.....	43
2.3. Crescimento.....	44
2.4. Determinação do teor de pigmentos.....	45
2.5. Delineamento experimental e análise estatística.....	46
3. RESULTADOS.....	46
3.1. Experimento I.....	46
3.2. Experimento II.....	49
4. DISCUSSÃO.....	52
5. CONSIDERAÇÕES.....	54
6. REFERÊNCIAS	54

CAPÍTULO 3- Pré-tratamentos com ultravioleta-B em sementes de tomateiro para indução da tolerância ao déficit hídrico.....	58
RESUMO.....	58
ABSTRACT.....	59
1. INTRODUÇÃO.....	60
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	62
2.1. Tratamento com UV-B e a avaliação da germinação de sementes	62
2.2. Avaliações da germinação de sementes.....	64
2.3. Determinação do teor de pigmentos.....	65
2.4. Delineamento experimental e análise estatística.....	66
3. RESULTADOS.....	67
4. DISCUSSÃO.....	73
5. CONSIDERAÇÕES.....	76
6. REFERÊNCIAS.....	76

PRÉ-TRATAMENTOS COM LUZ EM SEMENTES DE TOMATEIRO PARA INDUÇÃO DE TOLERÂNCIA AO DÉFICIT HÍDRICO

RESUMO GERAL - O déficit hídrico está entre as principais restrições para o cultivo de espécies de interesse agrícola, pois este fenômeno ocasiona diminuição no crescimento e produtividade das plantas. O condicionamento fisiológico de sementes surge como uma técnica que pode induzir à tolerância das plantas a diversos estresses abióticos. Desta forma objetivou-se com este trabalho pré-tratar sementes de tomateiro com diferentes qualidades de luz para indução da tolerância ao déficit hídrico. Para isto foram realizados três experimentos, nos quais sementes de tomateiro foram embebidas em água destilada sob os comprimentos de onda do vermelho, vermelho extremo, verde e azul por 10 ou 20 horas (experimento I e II, respectivamente) decorrido o tempo de embebição as sementes foram colocadas para secar sob o mesmo comprimento de onda durante 48 horas. No experimento III, sementes também foram colocadas para embeber durante 20 horas, após 10 horas de embebição as sementes foram exposta a luz UV-B ou branca por um período de 0, 1, 2, 3 e 4 horas, seguido de privação da luz. Após o período de embebição, foram postas para secar na ausência da luz por 48 horas. Para as análises de germinação e crescimento, sementes foram colocadas para germinar em caixas tipo gerbox contendo 2 folhas de papel de filtro umedecidas com 20 mL de água ou solução com potencial osmótico de -0,1 MPa, induzido com polietilenoglicol. O baixo potencial osmótico da condição estressora reduziu os valores da maioria das variáveis aqui estudadas. O tratamento com luz vermelha durante 20 horas melhorou o TMG e IVG das sementes de tomateiro. O pré tratamento com luz branca e UV-B durante 0, 1, 2, 3 e 4 horas melhoram a porcentagem de germinação, TMG e IVG da sementes de tomateiro sob déficit hídrico. Com isto, chegou-se a conclusão que o pré-tratamento com luz vermelha durante 20 horas, o pré-tratamento com luz branca, UV-B ou hidrocondicionamento de sementes de tomateiro pode induzir a tolerância ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Embebição, fotorreceptores, germinação.

SEED PRIMING WITH LIGHT IN TOMATO SEEDS FOR INDUCTION TO WATER DEFICIT TOLERANCE

GENERAL ABSTRACT – The water deficit is among the main constraints for the cultivation of species of agricultural interest, because this phenomenon promotes decreases in the growth and productivity of crops. The physiological conditioning of seeds arises as a technic that can induce the plant tolerance to many abiotic stresses. In this context aimed to evaluate in this work pre-treat tomato seeds with different qualities of light to induce the water deficit tolerances. For that, were realized three experiments which tomato seeds were imbibed in distilled water under wavelengths red, extreme red, green and blue for 10 or 20 hours (experiment I and II, respectively). After imbibition period the seeds were put to dry under the same wavelength during 48 hours. In the experiment III, seeds were put to imbibition during 20 hours also, after 10 hours of imbibition the seeds were exposed to UV-B light or white for a period of 0, 1, 2, 3 and 4 hours, followed by light privation. After the imbibition period, were put to dry in the absence of light for 48 hours. For analysis of germination and growth, the seeds were put to germinate in gerbox recipients containing 2 leaves of filter paper moistened with 20 ml of water or solution with osmotic potential of -0,1 MPa, induced by polyethylene glycol. The low osmotic potential of stress condition decreased the values of most of the analyzed variables in this paper. The treatment with red light during 20 hours improved TMG and IVG of tomato seeds. The pre-treatment with white light and UV-B during 0, 1, 2, 3 and 4 hours improved the germination percentage, TMG and IVG of tomato seeds under water deficit. So, we concluded that pre-treatment with red light during 20 hours, the pre-treatment with white light, UV-B or hydropriming of tomato seeds can induce water deficit tolerance.

Keywords: Soaking, photoreceptors, germination.

CAPÍTULO 1 – Considerações Gerais

1. INTRODUÇÃO GERAL

A germinação e o vigor de sementes são fatores primordiais para que as culturas possam ter elevado desempenho de produção em campo (MOTERLE et al., 2011). Fatores ambientais, tais como temperatura, luz, pH, umidade do solo (RIZZARDI et al., 2009), déficit hídrico, salinidade e solos contaminados por metais pesados podem afetar a germinação das sementes. Em campo as sementes, principalmente as de plantas cultivadas, encontram cada vez mais condições abióticas desfavoráveis que impedem ou diminuem seu potencial de germinação.

Desta forma, a escassez de água é uma das principais condições desfavoráveis e, este fenômeno tem se agravado cada vez mais devido às mudanças climáticas. Os potenciais osmóticos muito negativos causados pelo déficit hídrico retardam e reduzem o processo de germinação das sementes (MOTERLE; SCAPIM; LUCCA, 2008), principalmente no início da embebição, uma vez que todas as fases seguintes a absorção de água estarão comprometidas. Sendo assim, a água é considerada um fator abiótico preponderante na regulação do crescimento e desenvolvimento de uma planta, e induzir tolerância ao déficit hídrico é de fundamental importância para a manutenção do seu ciclo de vida (SHAO et al., 2008) em regiões áridas e semiáridas.

Embora a luz não seja considerada um fator imprescindível para que o processo germinativo se realize em sementes não dormentes, a sua presença pode contribuir para atenuar problemas causados pelo baixo potencial hídrico do solo (MARCOS-FILHO, 2015). Aliado a isto, o condicionamento fisiológico de sementes tem se mostrado uma técnica eficaz e de fácil execução, com a função de conferir às plantas tolerância aos mais diversos estresses abióticos (SUN et al., 2010; BAKHT et al., 2011; GALHAUT et al., 2014), principalmente em hortaliças de grande importância agrícola mundial, como o tomateiro (AMOOAGHAIE; NIKZAD, 2013).

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho induzir a tolerância ao déficit hídrico em sementes de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L) por meio de pré-tratamento das sementes com luz.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A espécie e sua importância agroeconômica

O tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) possui sua origem na América do Sul, tendo centros de distribuição na Bolívia, Chile, Equador e Peru (CURRENCE, 1963). O tomateiro é uma hortaliça pertencente à família das Solanaceas e possui grande importância econômica mundial. Anualmente são produzidas mais de 159 milhões de toneladas dessa hortaliça em todo o mundo, sendo que os maiores produtores mundiais de tomate são: China, Estados Unidos, Índia, Turquia, Egito, Itália, Irã, Brasil, Espanha e México, respectivamente, produzindo cerca de 76% da produção mundial desta cultura (FAOSTAT, 2013).

O Brasil ocupa o oitavo lugar em relação à produção mundial de tomate, produzindo em média mais de 4,4 milhões de toneladas por ano. Os três principais estados produtores são Goiás, Minas Gerais e São Paulo (IBGE, 2015). Das cultivares existentes no Brasil, a maioria é proveniente de materiais europeus e dos Estados Unidos, inclusive as cultivares tradicionais, apesar de materiais selvagens serem encontrados esporadicamente (CARELLI et al., 2006). Sob o ponto de vista econômico, o tomate é utilizado pelas indústrias de alimentos como matéria-prima para a produção de produtos derivados tais como molhos (LENUCCI, et al., 2006).

Considerando seu conteúdo nutricional, o tomate contém níveis elevados de glicose, frutose e sacarose (GARVEY; HEWITT, 1991; MIRON; SCHAFFER, 1991). Além disso, sua composição química possui também carotenoides: β - caroteno, um precursor da vitamina A, e, principalmente, o licopeno; são ainda encontradas vitaminas, a exemplo do ácido ascórbico e tocoferóis, fenóis: flavonóides e derivados

do ácido hidroxicinâmicos (BORGUINI; TORRES, 2009; CLINTON, 1998; KOTKOV; HEJTMNKOV; LACHMANI 2009 ; KOTKOV et al , 2011; MOCO et al., 2006 ; VALLVERDÚ - QUERALT et al., 2011) .

Muitos benefícios à saúde podem ser relacionados ao tomate, principalmente a prevenção ou combate ao desenvolvimento de doenças crônico-degenerativas (LEONARDI et al., 2000). Foi verificado em pesquisas epidemiológicas que o consumo de tomate está associado com um risco reduzido de câncer e doenças cardiovasculares (CLINTON, 1998; GIOVANNUCCI et al, 2002), sendo esse efeito atribuído aos seus componentes bioativos com propriedades antioxidantes (BORGUINI; TORRES, 2009).

2.2. Déficit hídrico na agricultura

O déficit hídrico é caracterizado quando a quantidade de água perdida pelo vegetal é maior que sua absorção e, seus efeitos na planta dependem da intensidade e do período de exposição à restrição hídrica (COSTA et al., 2008), pois afetam diretamente o crescimento e o desenvolvimento vegetal, implicando a redução de produtividade (BRAY, 2004), além de prejudicar processos vitais (GOLLDACK et al., 2014).

Dentre as diversas respostas dos vegetais ao déficit hídrico, existem aquelas negativas, como a produção de espécies reativas de oxigênio, as quais são produzidas por um desequilíbrio metabólico (NOCTOR et al., 2002). No entanto, ocorre também o aumento da produção de substâncias antioxidantes, ácido ascórbico, glutatona, carotenos, açúcares-álcool (manitol), aminoácidos (prolina), proteínas (chaperonas, LEA - late embryogenesis abundant) e aminas (glicina betaína e poliaminas), substâncias que auxiliam na adaptação da planta a esta condição de estresse (YORDANOV, 2000, SEKI et al., 2007). Como as principais mudanças apresentadas por plantas submetidas ao estresse hídrico podemos citar o fechamento dos estômatos, diminuição na condutância estomática e das perdas de água por transpiração, e consequentemente diminuição da fotossíntese

(XOCONOSTLE-CAZARES et al., 2010), alteração na permeabilidade da cutícula, redução de turgor, enrolamento das folhas, redução da área foliar, menor crescimento da parte aérea, maior crescimento do sistema radicular e abscisão floral (XOCONOSTLE-CAZARES et al., 2010; BASTOS et al., 2011; VARSHNEY et al., 2011),

Na fase de sementes, a restrição hídrica pode ser prejudicial, pois a germinação é um processo biológico que é totalmente dependente de um fornecimento adequado de água para que o desenvolvimento do embrião seja retomado (BECKERT et al., 2000). Tanto a germinação quanto o desenvolvimento inicial de plântulas são fases muito sensíveis ao déficit hídrico, e como consequência, pode ocorrer redução da porcentagem de germinação, desuniformidade do estande, resultando, assim, na diminuição do desempenho da cultura (DEMIR et al., 2006). Além disto, dependendo da intensidade e do período da restrição hídrica, a germinação poderá ser retardada, ou mesmo não ocorrer (MORAES; MENEZES, 2003; SILVA et al., 2006)

A água é fundamental para a atividade metabólica do processo da germinação, pois interfere na atividade enzimática, na solubilização e transporte de fotoassimilados, atuando como reagente na digestão das reservas da semente (MARCOS FILHO, 2005; BRADFORD, 1995). Desta forma, alterações no potencial hídrico externo afetará as propriedades hidráulicas do tegumento da semente, pois quanto mais baixo for esse potencial, menor será a quantidade de água no tegumento e sua absorção pelas sementes e, conseqüentemente o início da atividade enzimática, o desenvolvimento meristemático e a emergência da radícula serão retardadas (HADAS, 1976).

2.3. Germinação de sementes

A germinação é o processo de retomada do crescimento e desenvolvimento do eixo embrionário, interrompido nas sementes ortodoxas por ocasião da maturidade fisiológica, manifestando sua capacidade para originar uma plântula

normal em condições favoráveis (MARCOS FILHO, 2015), a qual pode ser influenciada por fatores intrínsecos, como longevidade e viabilidade e extrínsecos, a água, temperatura e oxigênio (CARVALHO; NAKAGAWA, 2012).

A água tem importância fundamental na ativação de diferentes processos metabólicos que resultam na germinação das sementes (ÁVILA et al., 2007), e para que a semente germine ela precisa ser hidratada, assim, esta absorção de água pelas sementes segue um padrão que compreende três fases distintas: na primeira fase de água é rapidamente absorvida, devido a diferenças de potencial hídrico entre substrato e sementes; na sequência, a segunda fase é caracterizada por uma redução na taxa de absorção de água, que é o resultado do equilíbrio entre os dois potenciais; e, finalmente, na terceira fase, devido à ativação metabólica e bioprodução de substâncias osmoticamente ativos por a semente, a água volta a ser absorvida rapidamente (BEWLEY; BLACK, 1994). Portanto, a germinação é um processo biológico que é dependente de um fornecimento adequado de água para que o desenvolvimento do embrião seja retomado (BECKERT et al., 2000).

2.4. Condicionamento fisiológico de sementes

O condicionamento fisiológico ou pré-tratamento de sementes é uma técnica que permite a reidratação (água ou soluções) controlada da semente para promover os processos metabólicos normalmente ativados durante a fase inicial de germinação (metabolismo pré-germinativo), mas impedindo a protrusão da radícula. Com isso, o condicionamento deve ser interrompido antes da perda da tolerância à dessecação (BEWLEY et al., 2013; PAPARELLA et al., 2015). O uso desta técnica tem demonstrado resultados práticos de grande importância agrônômica como o aumento da taxa de germinação, velocidade de germinação e emergência das plântulas, bem como sua uniformidade. Tais fatores podem resultar no melhor estabelecimento da cultura sob condições estressantes e, com isso, alcançar altos níveis de rendimento (McDONALD, 2000; BASRA et al 2005; BEWLEY et al., 2013; PAPARELLA et al., 2015). Entretanto, os efeitos benéficos do condicionamento

podem ser mais evidentes em condições desfavoráveis do que em condições favoráveis (PARERA; CANTLIFFE 1994).

O condicionamento de sementes baseia-se na relação entre a embebição e o potencial hídrico (ψ). Quando o ψ do meio de embebição é diminuído ou a quantidade total de água fornecida para as sementes é limitada ou cessada, a conclusão da emergência da radícula é impedida (BEWLEY et al., 2013; MARCOS FILHO, 2015). Entretanto, boa parte do metabolismo germinativo que ocorre durante a fase II da germinação continuam, incluindo síntese “de novo” de ácidos nucleicos e proteínas, produção de ATP, acumulação de esteróis e fosfolipídios, ativação da reparação do DNA, degradação de mRNA armazenados, transcrição e tradução de novas proteínas e os mecanismos antioxidantes. Contudo, mantendo-se também a tolerância a dessecação, permitindo que as sementes sejam desidratadas após o condicionamento. Na sequência, fornecida a quantidade de água adequada, as sementes condicionadas irão absorver rapidamente, encurtando a duração da fase II da germinação, movendo-se de forma relativamente rápida da hidratação para emergência da radícula e crescimento (BEWLEY et al., 2013; PAPARELLA et al., 2015).

O pré-tratamento de sementes têm sido usualmente utilizado para tratar sementes de: hortaliças, entre elas cenoura (*Daucus carota* L.), alho-poró e cebola (*Allium Genus* L.) (DEARMAN et al., 1987), salsa (*Apium graveolens* L.), alface (*Lactuca sativa* L.), chicória (*Cichorium endivia* L.), pimenta (*Capsicum*) e tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (PARERA; CANTLIFFE 1994; DI GIROLAMO; BARBANTI 2012); cereais, entre eles arroz (*Oryza sativa* L.) (BASRA et al., 2005) trigo (*Triticum aestivum* L.) (FAROOQ et al., 2013) e milho (*Zea mays* L.) (ABRAHA; IOHANNES 2013); na indústria de sementes de flores, em variedades de *Petunia hybrida* L. (DI GIROLAMO; BARBANTI 2012; MOMIN 2013) e plantas medicinais como, *Rosmarinus officinalis* L. e *Salvia splendens* L., (DI GIROLAMO; BARBANTI 2012).

O sucesso do condicionamento fisiológico é fortemente correlacionado com a espécie e fisiologia da planta, lote e vigor das sementes, bem como o método de condicionamento aplicado (PARERA; CANTLIFFE 1994). Entre os diversos métodos de condicionamento, verifica-se o hidrocondicionamento, no qual as sementes são

imersas ou postas em recipientes com camadas de papel filtros saturados com água destilada esterilizada mantida em temperatura adequada por um período predeterminado (KAYA et al., 2006; ABRO et al., 2009; SOLEIMANZADEH, 2013).

Na tentativa de melhorar a eficiência da germinação, o processo de embebição controlada realizada com quantidades definidas de água foi substituída por tratamentos com soluções salinas e, subsequentemente, com a utilização de polietilenoglicol de elevado peso molecular (PEG) (HEYDECKER et al., 1973). Hoje são conhecidos vários produtos e métodos para o pré-tratamento de sementes (JISHA et al, 2013, PAPARELLA et al, 2015):

No osmocondicionamento, as sementes são embebidas em soluções aeradas com baixos potenciais osmóticos, fazendo com que ocorra uma restrição na taxa de embebição (PARERA; CANTLIFFE, 1999). Para tanto, vários produtos químicos são utilizados para criar o baixo potencial osmótico como, por exemplo, polietilenoglicol (PEG) (RAHIMI, 2013; GALHAUT et al., 2014), NaCl (BAKHT et al., 2011), manitol (TOSELLI; CASENAVE, 2014), KNO₃ (SINGH et al., 2014), KCl (FAROOQ et al., 2006; ELOUAER; HANNACHI, 2012), CaCl₂ (AFZAL et al., 2008; REHMAN et al., 2011), ascorbato (AFZAL et al., 2008; JAFAR et al., 2012).

Pode-se ainda citar o pré-tratamento com nutrientes, o qual surge como uma nova proposta, onde as sementes são embebidas em soluções com nutrientes essenciais como N, P, e K (AL-MUDARIS; JUTZI 1999), Cu e Zn (CuSO₄, ZnSO₄) (PROM-U-THAI et al., 2012, BEGUM et al., 2014) e outros micronutrientes (FAROOQ et al., 2012). Além deste, utiliza-se também o pré-tratamento químico, em que vários são os produtos utilizados. Por exemplo, tem-se o ácido ascórbico (FAROOQ et al., 2013;) butenolide (DEMIR et al., 2012), selênio (NAWAZ et al., 2012), KH₂PO₄, etanol (AFZAL et al., 2013), poliaminas (putrescina) (KHAN et al., 2012), colina (SALAMA et al., 2011), quitosana (MAHDAVI; RAHIMI, 2013).

Outra técnica existente é o pré-tratamento hormonal, no qual reguladores de crescimento e hormônios vegetais são utilizados para se obter um melhor desempenho em condições de estresse abiótico. Este método consiste na imersão das sementes em soluções contendo reguladores ou hormônios vegetais, como giberelinas (GA₃) (GHOBADI et al., 2012; HEYDARIYAN et al., 2014), brassinolídeo

(ZHANG et al., 2007), etileno (CARVALHO et al., 2011), ácido salicílico (REHMAN et al., 2011; SHARAFIZAD et al., 2013) entre outros.

As espécies reativas de oxigênio (ROS) também vem sendo usadas para o pré-tratamento em plântulas e sementes de algumas culturas, a exemplo do precursor do radical hidroxil, o H_2O_2 (BARBA-ESPÍN et al., 2009; SANTHY et al., 2014) e a tioureia (PATADE et al., 2012). Isso se deve ao fato de que as ROS são fundamentais à regulação do processo de crescimento e desenvolvimento, e também da tolerância ao estresse, tornando o estado redox um fator de extrema importância durante o pré-tratamento (JISHA et al., 2013). As plantas modificam o seu estado redox em respostas a todos estímulos externos, com extensões que levam em conta a origem, dose e tempo de exposição (MILLER et al., 2009). Assim, supõe-se que mantendo-se o estado redox, os danos promovido por estresse podem ser mitigados (MITTLER, 2002).

O pré-tratamento matriz sólida, também denominado de condicionamento matricial sólido, condicionamento mátrico ou meio semi-sólido, é um processo alternativo às soluções líquidas, consiste na mistura de sementes em material sólido em proporções definidas, onde as propriedades físicas e químicas do material são utilizadas para diminuir a absorção de água pelas sementes (TAYLOR et al., 1988; COPELAND; McDONALD, 1995; JISHA et al., 2013). Vários são os materiais utilizados no pré-tratamento de sementes com matriz sólida. São exemplos desta modalidade de pré-tratamento, vermiculita em camadas, argila expandida calcinada, Agro-lig, carvão betuminoso macio, gel de polipropionato sódico, silicato de cálcio sintético, pó de serragem, carvão vegetal e cinza vulcânicas (KUBIK et al., 1988; KHAN; PATASZNIK, 1992, LORENZO, 1991) pó de “algalita” (QUEIROGA et al., 2011).

Alguns fungicidas também podem ser aplicados nas sementes, diluídos ou dissolvidos nas soluções de pré-tratamento, por exemplo, soluções de PEG (ALI et al., 2001; ZHAO et al., 2003). Fungicidas que promovem a tolerância ao estresse abiótico tem sido propostos, promovendo efeitos positivos como, por exemplo, o aumento da germinação *in vitro* em sementes de girassol devido à aplicação de estrobilurina (JISHA et al., 2013). O pré-tratamento biológico, por sua vez, consiste na aplicação de microrganismos e tem melhorado o desempenho das culturas, com

ênfase para aqueles que se estabelecem nas raízes das plantas como rizobactérias promotoras de crescimento (PGPR) (MIRSHEKARI et al., 2012) e *Tricoderma* (RAHMAM et al., 2015).

Finalmente, é evidente que as técnicas de pré-tratamento têm se mostrado muito úteis para aumentar a tolerância de sementes e plântulas às condições estressoras. Entretanto, a adoção de outras técnicas como às aquelas representadas por ondas eletromagnéticas de diferentes comprimentos carecem de mais atenção, pois alguns resultados de pesquisas mostraram-se promissores na indução de tolerância a estresses abióticos como, por exemplo, em sementes de alface tratadas com radiação UV-C a qual induziu tolerância ao estresse salino (OUHIBI et al., 2014).

Estudos, técnicas e ferramentas como o uso de tecnologia de imagem digital (DIT), biologia molecular, proteômica e biologia de sistemas têm sido utilizados, para uma melhor compreensão das mudanças ocorridas durante o condicionamento fisiológico de sementes, com a finalidade de melhorar dos métodos de condicionamento (PAPARELLA et al., 2015).

2.5. Luz na germinação de sementes

A luz é um importante fator ambiental que modula a germinação em um grande número de espécies. Ela é coordenada através da composição espectral, fluência de fótons, temperatura, disponibilidade de água, além do estado fisiológico das sementes, os quais podem promover ou inibir a germinação (MIGUEL et al., 2000; SHICHIJO et al., 2001, DONOHUE et al., 2008). Em sementes embebidas, estes parâmetros sinalizam à semente se as condições são ou não adequadas para germinação (BENECH-ARNOLD et al., 2000).

A resposta das sementes à luz, assim como para os demais fatores, apresenta-se de forma distinta entre as espécies e dependentes de uma série de fotorreceptores, tais como os fitocromos, os quais são as moléculas mais exploradas e caracterizadas nos processos fotomorfogenéticos (NAGY et al., 2001), que se

encontram em todas as plantas superiores e em cianobactérias. O fitocromo é o sensor fisiológico da luz nas sementes e existe duas formas interconvertíveis, uma forma chamada Fv, que é considerada fisiologicamente inativa, com pico de absorção na região do vermelho (660 nm) e outra denominada Fve, cujo pico de absorção encontra-se na faixa do vermelho extremo (730 nm), sendo considerada a forma ativa do fitocromo. Apesar da Fv absorver pouco no comprimento de onda azul, esta absorção permite a conversão de Fv em Fve. A reversão de Fve a Fv ocorre pela absorção do comprimento de onda vermelho-extremo podendo, também, a reversão de Fve a Fv ocorrer no escuro. Esta interconversão permite a mudança de estrutura bioquímica, o que permite ou não, a resposta fotomorfogenética (BORGES; RENA, 1993).

A ação da luz na região do vermelho e vermelho extremo sobre o fitocromo promove a alteração da sua forma isomérica permitindo o balanço entre a forma ativa (Fve) e inativa (Fv), respectivamente. Quando a taxa Fve/Fv é elevada, ocorre maior estímulo à germinação, sendo que em taxas menores, ocorre maior estímulo ao estado dormente das sementes (SMITH, 1982; VÁZQUEZ-YANES; OROZCO-SEGOVIA, 1993; BEWLEY; BLACK, 1994; VIVIAN et al., 2008).

Os criptocromos e as fototropinas são os receptores da luz azul e ultravioleta A (UV-A) (AHMAD; CASHMORE, 1993). Pouco é conhecido sobre a ação dos criptocromos em sementes, pois ainda não há estudos demonstrando especificamente a presença da proteína criptocromo em tecidos de sementes (GOGGIN; STEADMAM, 2012). Um experimento realizado por Hennig et al., (2002), mostrou que, sob luz azul, a germinação de um mutante de *Arabidopsis* deficientes nos fitocromos tipo A e E foi reduzida, sugerindo que a luz azul em sementes pode ser mediada por fitocromos. No entanto, a germinação foi reduzida apenas 50% no mutante individual e no duplo mutante em 75%. Portanto, é provável que a germinação de sementes de *Arabidopsis* sob luz azul seja também mediada por criptocromos, em conjunto com os fitocromos A e E (GOGGIN; STEADMAM, 2012).

Em outro estudo que evidenciou o efeito positivo da exposição de sementes desidratadas de cenoura, agrião e rabanete a altas intensidades de luz verde (526 e 532 nm) houve aumento de biomassa nas plantas, mesmo não afetando a germinação das sementes (SOMMER; FRANKE, 2006). Apesar dos resultados

acima reportados, não existem evidências de que estas respostas sejam mediadas por criptocromos (GOGGIN; STEADMAM, 2012), porque a resposta deste fotorreceptor ao comprimento de luz verde é dependente de uma irradiação anterior ou simultânea de luz azul (BANERJEE et al., 2007). Até então não é conhecido um receptor para luz verde, bem como a razão para o efeito do aumento da biomassa mesmo depois de algum tempo após as sementes secas serem expostas a tal luz. Sendo assim, sugere-se que exista um receptor específico para luz verde, antagonista para os receptores de luz vermelha e azul, mediando estas respostas em sementes, bem como em tecidos vegetativos (GOGGIN; STEADMAM, 2012).

Os diversos comprimentos de ondas influenciam algumas espécies de forma diferente. A exemplo disso, a luz azul que estimula a germinação de *Acacia catechu* (AGRAWAL; PRAKASH, 1978) e *Amaranthus* spp (SINGHAL et al., 1983) mas que inibe a de *Amaranthus caudatus* (NOWAK et al., 1996); o mesmo ocorre para a luz verde, a qual estimula *Aeschynomene indica* e *Tephrosia purpurea* (CHAGHTAI et al., 1983), *Solidago* spp, (WALCK et al, 2000), *Atriplex sagittata* (MANDAK; PYSEK, 2001) e Compositae (LUNA et al, 2004) e inibe a germinação de *Chondrilla juncea* (LUNA et al., 2004), bem como a luz azul e vermelho-extremo resulta em inibição de *Solanum tuberosum* (LISTOWSKI; RYKACZEWSKA, 1975); *Citrullus lanatus* (THANOS; MITRAKOS, 1992). Em sementes de *Cyrtopodium glutiniferum*, a germinação é mais rápida sob luz branca ou azul, mas alcançou um percentual final mais elevado sob a luz verde (VOGEL; MACEDO, 2011).

3. REFERÊNCIAS

ABRAHA, B.; YOHANNES, G. The role of seed priming in improving seedling growth of maize (*Zea mays* L.) under salt stress at field conditions. **Agricultural Sciences**, v. 4, n. 12, p. 666-672, 2013.

ABRO, S. A.; MAHAR, A. R. ; MIRBAHAR, A. A. Improving yield performance of landrace wheat under salinity stress using on-farm seed priming. **Pakistan Journal of Botany**, v. 41, n. 5, p. 2209-2216, 2009.

AFZAL, I.; MUNIR, F.; AYUB, C. M.; BASRA, S. M. A.; HAMEED, A.; SHAH, F. Ethanol priming: an effective approach to enhance germination and seedling development by improving antioxidant system in tomato seeds. **Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus**, v. 12, n. 4, p. 129-137, 2013.

AFZAL, I.; BASRA, S. M. A.; SHAHID, M.; FAROOQ, M.; SALEEM, M. Priming enhances germination of spring maize (*Zea mays* L.) under cool conditions. **Seed Science and Tecnology**, v. 36, p. 497-503, 2008.

AGRAWAL, P.K.; PRAKASH, G. Control of seed germination in some Indian trees. **Tropical Ecology**, v. 19, p. 174–177., 1978.

AHMAD, M.; CASHMORE, A. R. HY4 gene of *A. thaliana* encodes a protein with characteristics of a blue-light receptor. **Nature**, v. 366, p. 162–166, 1993.

AI – MUDARIS, M. A.; JUTZI, S. C. The Influence of fertilizer!based seed priming treatments on emergence and seedling growth of sorghum bicolor and *Pennisetum glaucum* in pot trials under greenhouse conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 182, p. 135-141, 1999.

ALI, N. I.; SIDDIQUI, I. A.; SHAUKAT, S. S.; ZAKI, M. J. Survival of *Pseudomonas aeruginosa* in various carriers for the inhibition of root rot–root knot disease complex of mungbean. **Phytopathologia Mediterranea**, v. 40, p. 108–112, 2001.

A M O O A G H A I E , R . ; K H O R S H I D , N . The role of nitric oxide in priming-induced low-temperature tolerance in two genotypes of tomato. **Seed Science Research**, v. 23, p. 123-131, 2013.

ÁVILA, M. R.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; FAGLIARI, J. R.; SANTOS, J. L. Influência do estresse hídrico simulado com manitol na germinação de sementes e crescimento de plântulas de canola. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 98-106, 2007.

BAKHT, J.; SHAFI, M.; JAMAL, Y.; SHER, H. Response of maize (*Zea mays* L.) to seed priming with NaCl and salinity stress. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 9, n. 1, p. 252-261, 2011.

BANERJEE, R.; SCHLEICHER, E.; MEIER, S.; VIANA, R. M.; POKORNY, R.; AHMAD, M.; BITTL, R.; BATSCHAUER, A. The signaling state of Arabidopsis cryptochrome 2 contains flavin semiquinone. **Journal of Biological Chemistry**, v. 282, p. 14916–14922, 2007.

BARBA-ESPÍN, G.; DIAZ-VIVANCOS, P.; JOB, D.; BELGHAZI, M.; JOB, C.; HERNÁNDEZ, J. A. Understanding the role of H₂O₂ during pea seed germination: a combined proteomic and hormone profiling approach. **Plant Cell and Environment**, v. 34, p. 1907–1919, 2011.

BASRA, S. M. A.; FAROOQ, M.; TABASSAM, R.; AHMAD, N. Physiological and biochemical aspects of pre-sowing seed treatments in fine rice (*Oryza sativa*). **Seed Scienc and Tecnology**, v. 33, p. 623-628, 2005.

BASTOS, E. A.; NASCIMENTO, S. P.; SILVA, E. M.; FREIRE FILHO, R. R.; GOMIDE, R. L. Identification of cowpea genotypes for drought tolerance. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.100- 107, 2011.

BECKERT, O. P.; MIGUEL, M. H.; MARCOS-FILHO, J. Absorção de água e potencial fisiológico em sementes de soja de diferentes tamanhos. **Scientia Agrícola**, v. 57, n. 4, p. 671-675, 2000.

BEGUM, N.; GUL, H.; HAMAYUN M.; RAHMAN I.U.; IJAZ, F.; IQBAL, Z.; AFZAL, A.; AFZAL, M.; ULLAH, A.; KARIM, S. Influence of seed priming with ZnSO₄ and CuSO₄ on germination and seedling growth of *Brassica rapa* under NaCl stress. **Middle-East Journal of Scientific Research**, v. 22, p. 879-885, 2014.

BENECH-ARNOLD, R. L.; SÁNCHEZ, R. A.; FORCELLA, F.; KRUK, B. C.; GHERSA, C. M. Environmental control of dormancy in weed seed banks in soil. **Field Crops Research**, v. 67, p. 105–122, 2000.

BEWLEY, J.D.; BRADFORD, K.J.; HILHORST, H.W.M.; NONOGAKI, H. **Seeds : Physiology of development, germination and dormancy**. New York, 2013. p. 392.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. 2.ed. New York: Plenum Press, 1994. 445p.

BORGES, E.E.L.; RENA, A. B. Germinação de sementes. In: AGUIAR, I.B.; PIÑARODRIGUEZ, F.C.M.; FIGLIOLIA, M.B. (ed.). **Sementes florestais tropicais**. Brasília : ABRATES, 1993. p. 83-135.

BORGUINI, R., TORRES, E. Tomatoes and tomato products as dietary sources of antioxidants. **Food Reviews International**, v. 25, p. 313–325, 2009.

BRADFORD, K. J. Water relations in seed germination. In: KIGEL, J.; GALILI, J. **Seed development and germination**. New York: Marcel Dekker, 1995. 853p.

BRAY, E. A. Genes commonly regulated by water-deficit stress in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, v. 55, n. 407, 2004.

CARELLI, B. P.; GERALD, L. T. S.; GRAZZIOTIN, F. G.; ECHEVERRIGARAY, S. Genetic diversity among Brazilian cultivars and landraces of tomato *Lycopersicon esculentum* Mill. Revealed by RAPD markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v. 53, p. 395-400, 2006.

CARVALHO, R. F.; PIOTTO, F. A.; SCHMIDT, D.; PETERS, L. P.; MONTEIRO, C. C.; AZEVEDO, R. A. Seed priming with hormones does not alleviate induced oxidative stress in maize seedlings subjected to salt stress. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 5, p. 598-602, 2011.

CARVALHO, N.M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. 5.ed. Jaboticabal: FUNEP, 2012. 590p.

CHAGHTAI, S. A.; KHAN, S. S.; SULTAN, S. Germination response of some wild papilionaceous seeds of various action spectra. **Biologia**, v. 29, p. 93–100, 1983.

CLINTON, S.K.. Lycopene; chemistry, biology and implications for human health and diseases. **Nutrition Foundation**, v. 56, p. 35–51, 1998.

COPELAND, L. O.; McDONALD, M. B. **Principles of seed science and technology**, 3rd edn. Chapman and Hall, USA, 1995.

COSTA, R. C. L.; LOBATO, A. K. S.; OLIVEIRA NETO, C. F.; MAIA, P. S. P.; ALVES, G. A. R.; LAUGHIGHOUSE IV, H. D. Biochemical and physiological responses in two *Vigna unguiculata* (L.) Walp. cultivars under water stress. **Agronomy Journal**, v. 7, p. 98- 101, 2008.

CURRENCE, T. M. Tomato breeding. I . Species, origin and botanical characters. **Handbuch der pflanzenzuchtung**, v. 2, p. 351-369, 1963.

DEARMAN, J; BROCKLEHUST, P.A.; DREW, R. L. K. Effect of osmotic priming and aging on the germination and emergence of carrot and leek seed. **Annals of Applied Biology**, v. 111, p. 717–722, 1987.

DEMIR, I.; OZUAYDIN, I.; YASAR, F.; VAN STADEN, J. Effect of smoke-derived butenolide priming treatment on pepper and salvia seeds in relation to transplant quality and catalase activity. **South African Journal of Botany**, v. 78, p. 83-87, 2012.

DEMIR, A. O.; GOKSOY, A. T.; BUYUKCANGAZ, H.; TURAN, Z. M.; KOKSAL, E. S. Deficit irrigation of sunflower (*Helianthus annuus* L.) in a sub-humid climate. **Irrigation Science**, v. 24, p. 279–289, 2006.

DI GIROLAMO, G; BARBANTI, L. Treatment conditions and biochemical processes influencing seed priming effectiveness. **Italian Journal of Agronomy**, v. 7:e25, 2012

DONOHUE, K.; HESCHEL, M. S.; BUTLER, C. M.; BARUA, D.; SHARROCK, R. A.; WHITELAM, G. C.; CHIANG, G. C. K. Diversification of phytochrome contributes to germination as a function of seed-maturation environment. **New Phytologist**, v. 177, p. 367–379, 2008.

ELOUAER, M. A.; HANNACHI, C. Seed priming to improve germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius*) under salt stress. **EurAsian Journal of BioSciences**, v. 6, p. 76-84, 2012.

FAOSTAT. 2013. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Tomatoes production-crops**. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/search/tomatoes>> Acesso em: 05/01/2016.

FAROOQ, M.; IRFAN, M.; AZIZ, T.; AHMAD, I., CHEEMA, S. A. Seed priming with ascorbic acid improves drought resistance of wheat. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 199, p. 12-22, 2013.

FAROOQ, M.; WAHID, A.; SIDDIQUE, K. H. M. Micronutrient application through seed treatments a review. **Journal of Soil Science and Plant Nutrition**, v. 2, n. 1, p. 125-142, 2012.

FAROOQ, M.; BASRA, S. M. A.; HAFEEZ-UR-REHMAN. Seed priming enhances emergence, yield, and quality of direct-seeded rice. **Crop Management and Physiology**, 2006.

GALHAUT, L.; LESPINAY, A. de; WALKER, D. J.; BERNAL, M. P.; CORREAL, E.; LUTTS, S. Seed priming of *Trifolium repens* L. improved germination and early seedling growth on heavy metal-contaminated soil. **Water Air Soil Pollut**, v. 225, p.1905, 2014.

GARVEY, T.; HEWITT, J. Starch and sugar accumulation in two accessions of *Lycopersicon cheesmanni*. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 46, p. 381–396, 1991.

GHOBADI, M.; ABNAVI, M. S.; HONARMAND, S. J.; GHOBADI, M. E.; MOHAMMADI, G. R. Effect of hormonal priming (GA3) and osmopriming on behavior of seed germination in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Agricultural Science**, v. 4, n. 9, p. 244 – 250, 2012.

GIOVANNUCCI, E., RIMM, E. B., LIU, Y., STAMPFER, M. J., WILLETT, W. C.. A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. **Journal of the National Cancer Institute**, v. 94, p. 391–398, 2002.

GOGGIN, D.E.; STEADMAN, K. J. Blue and green are frequently seen: responses of seeds to short- and mid-wavelength light. **Seed Science Research**, v. 22, p. 27 – 35, 2012.

GOLLDACK, D.; LI, C.; CHAO, LI., MOHANAND, H., PROBST, N. Tolerance to drought and salt stress in plants: unraveling the signaling networks. **Frontiers in Plant Science**, v. 5, p. 1-10, 2014.

HADAS, A. Water uptake and germination of leguminous seeds under changing external water potential in osmotic solutions. **Journal of Experimental Botany**, v. 27, n. 98, p. 480-489, 1976.

HENNIG, L.; STODDART, W. M.; DIETERLE, M.; WHITELAM, G.C.; SCHAFER E. Phytochrome e controls lightinduced germination of *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v. 128, p. 194–200, 2002.

HEYDARIYAN, M.; BASIRANI, N.; SHARIFI-RAD, M.; KHMMARI, I.; POOR, S. R. Effect of seed priming on germination and seedling growth of the caper (*Capparis spinosa*) under drought stress. **International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research**, v. 2, p. 2381-2389, 2014.

HEYDECKER, W.; HIGGINS, J.; GULLIVER, R. L. Accelerated germination by osmotic seed treatment. **Nature**, Estados Unidos, v. 246, n. 42–44, 1973.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Levantamento Sistemático da produção Agrícola: pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil – 2015**. Disponível em ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Agricola/Levantamento_Sistematico_da_Producao_Agricola_%5Bmensal%5D/Fasciculo/lspa_201501.pdf. Acesso em 05/01/2016.

JAFAR, M. Z.; FAROOQ, M.; CHEEMA, M. A.; AFZAL, I.; BASRA, S. M. A.; WAHID, M. A.; AZIZ, T.; SHAHID, M. Improving the performance of wheat by seed priming under saline conditions. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 198, p. 38-45, 2012.

JISHA, K. C.; VIJAYAKUMARI, K.; PUTHUR, J. T. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 1381-1396, 2013.

KAYA, M. D.; OKCU, G.; ATAK, M.; CIKILI, Y.; KOLSARICI, O. Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.). **European Journal Agronomy**, v. 24, p. 291–295, 2006.

KHAN, H. A.; ZIAF, K.; AMJAD, M.; IQBAL, Q. Exogenous application of polyamines improves germination and early seedling growth of hot pepper. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 72, n. 3, p. 429 –, 433, 2012

KHAN, A. A.; PTASZNIK, W. Matriconditioning of seeds to improve stand establishment and yield. In: **Proccedings of the Fourth International Workshop on Seeds: Basis and applied aspects of seed biology**. Angers, França. 1992, p.20-24.

KOTKOV, Z., HEJTMNKOV, A., LACHMAN, J. Determination of the influence of variety and level of maturity of the content and development of carotenoids in tomatoes. **Czech Journal of Food Sciences**, v. 27, p. S200-S203, 2009.

KOTKOV, Z., LACHMAN, J., HEJTMNKOV, A., HEJTMNKOV, K. Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and evaluation of mutual interactions between antioxidants. **LWT - Food Science and Technology**, v. 44, p. 1703- 1710, 2011.

KUBIK, K. K.; EASTIN, J. A.; ESKRIDGE, K. M. Solid matrix priming of tomato and pepper. In: **Proceedings of the international conference on stand establishment for horticultural crops**. Lancaster, Pennsylvania, USA, p 86–96, 1988.

LENUCCI, M.S., CADINU, D., TAURINO, M., PIRO, G., DALESSANDRO, G. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 54, p. 2606-2613, 2006.

LEONARDI, C.; AMBROSINO, P.; ESPOSITO, F.; FOGLIANO, V. Antioxidative activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 48, p. 4723–4727, 2000.

LISTOWSKI, A.; RYKACZEWSKA, K. The influence of light on the germination of potato seeds. **Acta Agrobotanica**, v. 28, p. 241–251, 1975.

LORENZO, M. C. B. **Seed invigoration of soybean and corn through solid matrix priming**. BS, Philippines, 1991.

LUNA, B.; PEREZ, B.; FERNANDEZ-GONZALEZ, F.; MORENO, J. M. Sensitivity to green safelight of 12 Mediterranean species. **Seed Science and Technology**, v. 32, p. 113–117, 2004.

MANDAK, B.; PYSEK, P. The effects of light quality, nitrate concentration and presence of bracteoles on germination of different fruit types in the heterocarpous *Atriplex sagittata*. **Journal of Ecology**, 89, 149–158, 2001.

MAHDAVI, B.; RAHIMI, A. Seed priming with chitosan improves the germination and growth performance of ajowan (*Carum copticum*) under salt stress. **Eurasian Journal of Biosciences**, v. 7, p. 69-76, 2013.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2015 660p.

McDONALD, M. B. Seed priming. In: Black M, Bewley J. D (eds) **Seed technology and its biological basis**. Sheffield Academic Press, Sheffield, 2000. p. 287–325.

MIGUEL, L, BURGÍN, M. J.; CASAL, J. J.; SÁNCHEZ, R. A. Antagonistic action of low-fluence and high-irradiance modes of response of phytochrome on germination and α -mannanase activity in *Datura ferox* seeds. **Journal of Experimental Botany**, v. 51, n. 347, 1127–1133, 2000.

MILLER, G.; SUZUKI, N.; CİFTÇİ-YILMAZ, S.; MITTLER, R. Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. **Plant Cell and Environment**, v. 33, p. 453–467, 2010.

MIRON, D.; SCHAFFER, A. A. Sucrose phosphate synthase, sucrose synthase, and invertase activities in developing fruit of *Lycopersicon esculentum* Mill. and the sucrose accumulating *Lycopersicon hirsutum* Humb. and Bonpl. **Plant Physiology**, v. 95, n.2, p. 623-7, 1991.

MIRSHEKARI, B.; HOKMALIPOUR, S.; SHARIFI, R. S.; FARAHVASH, F.; EBADI-KHAZINE-GADIM, A. Effect of seed biopriming with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield and dry matter accumulation of spring barley (*Hordeum vulgare* L.) at various levels of nitrogen and phosphorus fertilizers. **Journal of Food, Agriculture and Environment**, v. 10, n. 3-4, p. 314 – 320, 2012.

MITTLER R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. **Trends in Plant Science**, v. 9, p. 405–410, 2002.

MOCO, S.; BINO, R. J.; VORST, O.; VERHOEVEN, H. A.; DE GROOT, J.; VAN BEEK, T. A.; VERVOORT, J.; DE VOS, J. H. R. A liquid chromatography-mass spectrometry-based metabolome database for tomato. **Plant Physiology**, v. 141, p. 1205-1218, 2006.

MOMIN, K. C. Challenges of the flower seed industry. **Indian Journal Of Applied Research**, v. 3, p. 244–245, 2013.

MORAES, G. A. F.; MENEZES, N. L. Desempenho de sementes de soja sob condições diferentes de potencial osmótico. **Ciência Rural**, v. 33, n. 2, p.219- 226, 2003

MOTERLE, L. M.; SANTOS, R. F, SCAPIM, C. A.; BRACCINI, A. L.; BONATO, C. M.; CONRADO, T. Efeito de biorregulador na germinação e no vigor de sementes de soja. **Revista Ceres**, v. 58, n. 5, p. 651-660, 2011.

MORTELE, L. M.; SCAPIM, C. A.; LUCCA, A. B. Influência do estresse hídrico sobre o desempenho fisiológico de sementes de híbridos simples de milho pipoca. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 6, p. 1810-1817, 2008.

NAGY, F.; KIRCHER, S.; SCHÄFER, E. Intracellular trafficking of photoreceptors during light-induced signal transduction in plants. **Journal of Cell Science**, v. 114, n. 3, p. 475-480, 2001.

NAWAZ, F.; ASHRAF, M. Y.; AHMAD, R.; WARAICH, E. A. Selenium (Se) Seed priming induced growth and biochemical changes in wheat under water deficit conditions. **Biological Trace Element Research**, v. 151, p. 284-293, 2012.

NOCTOR, G.; VELJOVIC-JOVANOVIC, S.; DRISCOLL, S.; NOVITSKAYA, L.; FOYER, C. H. Drought and oxidative load in the leaves of C3 plants: a predominant role for photorespiration? **Annals of botany**, v. 89, p. 841- 850, 2002.

NOWAK, J.; RUDNICKI, R. M.; GRZESIK, M. Effect of light quality on seed germination, seedling growth and pigment content in *Amaranthus caudatus* and *Celosia cristata nana*. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v. 4, p. 179–185, 1996.

OUHIBI, C.; ATTIA, H.; REBAH, F.; MSILINI, N.; CHEBBI, M.; AARROUF, J.; URBAN, L.; LACHAAL, M. Salt stress mitigation by seed priming with UV-C in lettuce plants: Growth, antioxidant activity and phenolic compounds. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 83, p. 126-133, 2014.

PAPARELLA, S.; ARAÚJO, S. S; ROSSI, G.; WIJAYASINGHE, M; CARBONERA, D; BALESTRAZZI, A. Seed priming: state of the art and new perspectives. **Plant Cell Rep**, v. 34, p. 1281–1293, 2015.

PARERA, C. A.; CANTLIFFE, D. J. Pre-sowing seed priming. **Horticultural Reviews**, v. 16, p. 109-141, 1994.

PATADE, V. Y.; KHATRI, D.; MANOJ, K.; KUMARI, M.; AHMED, Z. . Cold tolerance in thiourea primed capsicum seedlings is associated with transcript regulation of stress responsive genes. **Molecular Biology Reports**, v. 39, p. 10603-10613, 2012.

PROM-U-THAI, C.; RERKASEM, B.; YAZICI, A.; CAKMAK, I. Zinc priming promotes seed germination and seedling vigor of rice. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, p. 482-488, 2012.

QUEIROGA, V. P.; BRUNO, R. L. A.; LIMA, M. A. A.; SANTOS, J. W. Qualidade fisiológica de sementes de algodoeiro submetidas ao condicionamento mátrico e osmótico. **Revista Ceres**, v. 58, n. 1, p. 56-61, 2011.

RAHMAN, M.; ALI, J., MASOOD, M. Seed priming and *Trichoderma* application: A method for improving seedling establishment and yield of dry direct seeded boro (winter) rice in Bangladesh. **Universal Journal of Agricultural Research**., v. 3, n. 2, p. 59-67, 2015

RAHIMI, A. Seed priming improves the germination performance of cumin (*Cuminum syminum* L.) under temperature and water stress. **Industrial Crops and Products**, v. 42, p. 454– 460, 2013.

REHMAN, H.; BASRA, S. M. A.; FAROOQ, M.; AHMED, N.; AFZAL, I. Seed priming with CaCl_2 improves the stand establishment, yield and quality attributes in direct seeded rice (*Oryza sativa*). **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 13, p. 786–790, 2011.

RIZZARDI, M. A.; LUIZ, A.R.; ROMAN, E. S.; VARGAS, L. Temperatura cardeal e potencial hídrico na germinação de sementes de corda-de-viola (*Ipomoea triloba*). **Planta Daninha**, v. 27, n. 1, p. 13-21, 2009.

SALAMA, K. H. A.; MANSOUR, M. M. F.; HASSAN, N. S. .Choline Priming Improves Salt Tolerance n Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 5, p. 126-132, 2011.

SANTHY, V.; MESHARAM, M.; WAKDE, R.; KUMARI, P. R. V. Hydrogen peroxide pre-treatment for seed enhancement in Cotton (*Gossypim hirsutum* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, p. 1982-1989, 2014.

SEKI, M.; UMEZAWA, T.; URANO, K.; SHINOZAKI, K. Regulatory metabolic networks in drought stress responses. **Current Opinion in Plant Biology**, v.10, p. 296- 302, 2007.

SHAO, H. B.; CHU, L. Y.; JALEEL, C. A.; ZHAO, C. X. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. **Comptes Rendus Biologies**, v. 331, n. 3, p. 215-225, 2008.

SHICHIJO, C.; KATADA, K.; TANAKA, O.; HASHIMOTO, T. Phytochrome A-mediated inhibition of seed germination in tomato. **Planta** 213, 764–769. 2001.

SILVA, J.B.; RODRIGUES, T.J.D.; VIEIRA, R.D. Desempenho de sementes de soja submetidas a diferentes potenciais osmóticos em polietilenoglicol. **Ciência Rural**, v. 36, n. 5, p.1634-1637, 2006.

SMITH, H. Light quality photoperception and plant strategy. **Annual Review of Plant Physiology**, v.33, p.481-518, 1982.

SINGH, A.; DAHIRU, R., MUSA, M.; HALIRU, B. S. Effect of osmopriming duration on germination, emergence, and early growth of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in the sudan savanna of Nigeria. **International Journal of Agronomy**, v. 2014, Article ID 841238, 4p., 2014.

SINGHAL, B. K.; SEN, D.N.; BHANDARI, D. C. Spectral sensitivity of seed germination and seedling growth in *Amaranthus* species. **Bangladesh Journal of Botany**, v. 12, p. 171–177, 1983.

SHARAFIZAD, M.; NADERI, A.; SIADAT, S. A.; SAKINEJAD, T.; LAK., S. Effect of salicylic acid pretreatment on germination of wheat under drought stress. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, p. 179-199, 2013.

SOLEIMANZADEH, H. Effect of seed priming on germination and yield of corn. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 5, n. 4, p. 366-369, 2013.

SOMMER, A. P.; FRANKE, R. P. Plants grow better if seeds see green. **Naturwissenschaften**, v. 93, p. 334–337, 2006.

TAYLOR, A. G.; KLEIN, D. E.; WHITLOW. SMP: Soil matrix priming of seeds. **Scientia Horticulturae**, v. 37, p. 1- 11, 1988.

THANOS, C. A.; MITRAKOS, K. Watermelon seed germination: 1. Effects of light, temperature and osmotica. **Seed Science Research**, v. 2, p. 155–162, 1992.

TOSELLI, M. E.; CASENAVE, E. C. Is the enhancement produced by priming in cottonseeds maintained during storage? **Bragantia**, v. 73, n. 4, p.372-376, 2014

TOYOMASU, T; KAWAIDE, H.; MITSUHASHI, W.; INOUE, Y.; KAMIYA, Y. Phytochrome regulates gibberellin biosynthesis during germination of photoblastic Lettuce seeds. **Plant Physiology**, v. 118, n. 4, p. 1517-1523, 1998.

VALLVERDÚ-QUERALT, A.; MEDINA-REMÓN, A.; MARTÍNEZ-HUÉLAMO, M.; JÁUREGUI, O.; ANDRES-LACUEVA, C.; LAMUELA-RAVENTOS, R. M. Phenolic profile and hydrophilic antioxidant capacity as chemotaxonomic markers of tomato varieties. **Journal of. Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, p. 3994–4001, 2011.

VARSHNEY, R. K.; PAZHAMALA, I.; KASHIWAGI, J.; GAUR, P. M.; KRISHNAMURTHY, L.; HOISINGTON, D. Genomics and physiological approaches for root trait breeding to improve drought tolerance in chickpea (*Cicer arietinum* L.). **Root Genomics**, v. 10, p. 213-222, 2011.

VÁZQUEZ-YANES, C.; OROZCO-SEGOVIA, A. Ecological significance of light controlled seed germination in two contrasting tropical habitats. **Oecologia**, v. 83, n. 2, p.171-175, 1993.

VIVIAN, R.; SILVA, A. A.; GIMENES, Jr., M.; FAGAN, E. B.; RUIZ, S. T.; LABONIA, V. Dormência em sementes de plantas daninhas como mecanismo de sobrevivência: breve revisão. **Planta Daninha**, v. 26, n. 02, p. 695-706, 2008.

VOGEL, I. N.; MACEDO, A. F. Influence of IAA, TDZ, and light quality on asymbiotic germination, protocorm formation, and plantlet development of *Cyrtopodium glutiniferum* Raddi., a medicinal orchid. **Plant Cell, Tissue and Organ Culture**, v. 104, p. 147–155, 2011.

WALCK, J. L.; BASKIN, J. M.; BASKIN, C. C. Increased sensitivity to green light during transition from conditional dormancy to nondormancy in seeds of three species of *Solidago* (Asteraceae). **Seed Science Research**, v. 10, p. 495–499, 2000.

XOCONOSTLE-CAZARES, B.; RAMIREZ-ORTEGA, F. A.; FLORES-ELENES, L.; RUIZ-MEDRANO, R. Drought tolerance in crop plants. **American Journal of Plant Physiology**, v. 5, n. 5, p. 241-256, 2010.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant response to drought, acclimation, and stress tolerance. **Photosynthetica**, v. 38, p. 171- 186, 2000.

ZHANG, S.; HU, J.; ZHANG, Y.; XIE, X. J.; KNAPP, A. Seed priming with brassinolide improves lucerne (*Medicago sativa* L.) seed germination and seedling growth in relation to physiological changes under salinity stress. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 58, p. 811-815, 2007.

ZHAO, X.; LI, Y. L.; ZHANG, L. X.; DORNA, H. Effects of priming and fungicide treatment on germination of china aster (*Callistephus chinensis* L.) seeds. **Seed Science and Technology**, v. 32, p. 451-457, 2003.

CAPÍTULO 2 – Hidrocondicionamento com diferentes qualidades de luz em sementes de tomateiro

RESUMO - A escassez dos recursos hídricos pode comprometer a segurança alimentar visto que o déficit hídrico afeta a produtividade das culturas. O condicionamento fisiológico de sementes surge como uma alternativa promissora para indução de tolerância aos estresses abióticos. Aliado a isto, o fato de que a luz é fator limitante ou parte fundamental na indução da germinação de sementes e crescimento em muitas espécies, não seria surpresa pensar que o hidrocondicionamento associado a luz poderia induzir tolerância ao déficit hídrico. Desta forma, objetivou-se pré-tratar sementes de tomateiro com luz para indução da tolerância ao déficit hídrico. Para isto, foram realizados dois experimentos, nos quais sementes de tomateiro foram embebidas em água destilada e expostas a comprimentos de onda do vermelho, vermelho extremo, verde e azul por 10 ou 20 horas (experimento I e II, respectivamente). Além disso, para ambos experimentos, sementes permaneceram no escuro ou não foram tratadas. Para as análises de germinação e crescimento, sementes foram colocadas para germinar em caixas tipo gerbox contendo 2 folhas de papel de filtro umedecidas com 20 mL de água ou solução com potencial osmótico de -0,1 MPa, induzido com polietilenoglicol. Durante 120 horas foram realizadas as contagens de germinação a cada 12 horas e, a partir delas, foram analisadas a porcentagem de germinação (PGM), tempo médio de germinação (TMG) e índice de velocidade de germinação (IVG). Além disso, após 10 dias do início dos experimentos, foram avaliados: crescimento da parte aérea e raiz; biomassa seca de parte aérea e raiz; teores de clorofilas totais, carotenóides e antocianinas. O baixo potencial osmótico da condição estressora reduziu a maioria das variáveis aqui estudadas, porém apenas o tratamento com luz vermelha durante 20 horas melhorou o TMG e IVG das sementes de tomateiro. Com isto, chegamos a conclusão de que o pré-tratamento com luz V durante 20 horas pode induzir nas sementes de tomateiro tolerância ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Fitocromos, condicionamento fisiológico, *Solanum lycopersicum* L.

CHAPTER 2 – Hydropriming with different qualities of light on tomato seeds

ABSTRACT – The scarcity of water resources can compromise the food security due to the fact that water deficit affects crop productivity. The physiological conditioning of seeds arises as a promising alternative to induce tolerances to abiotic stresses. Allied to this, the fact that the light is a limiting factor or fundamental part in the induction of seed germination and growth in many species, it would not be surprising to think that hydropriming associated to the light could induce tolerance to water stress. So, aimed to pre-treat tomato seeds with light for induction to water deficit tolerance. For this, two experiments were carried out in which tomato seeds were imbibed in distilled water under the wavelengths of red, extreme red, green and blue for 10 or 20 hours (experiment I and II, respectively). In addition, for both experiments, seeds were kept in the dark or were not treated. For analysis of germination and growing, seeds were put to germinate in gerbox containing 2 leaves of filter paper moistened with 20 ml of water or solution with osmotic potential -0.1 MPa, induced with polyethylene glycol. During 120 hours were realized the germination counts every 12 hours and from them were analyzed the PGM, TGM and IVG. In addition, after 10 days the beginning of experiments, were evaluated: shoot and root growth, dry matter of shoot and root, total chlorophyll levels, carotenoids and anthocyanin. The low osmotic potential of stressed condition decreases most of the analyzed variables in this paper, however only treatment with red light during 20 hours improved the TGM and IVG of tomato seeds. So, we conclude that pre-treating tomato seeds with V light during 20 hours can induce them to water deficit tolerance.

Keywords: Phytochromes, Physiological conditioning, *Solanum lycopersicum* L.

1. INTRODUÇÃO

A escassez de recursos hídricos tem se agravado em função de mudanças climáticas, e entre as consequências, está o comprometimento da segurança alimentar (SOMERVILLE; BRISCOE, 2001), já que o déficit hídrico afeta o crescimento, desenvolvimento e a produtividade das culturas em diversas zonas climáticas, principalmente nas de clima árido e semiárido (KNAPP et al., 2001; FISCHLIN et al., 2007). Estes fatos estão aliados diretamente ao déficit hídrico por afetar a morfologia, fisiologia e até características moleculares e fotoquímicas das plantas (LISAR, et al., 2012), a exemplo da redução do turgor que implica diretamente na redução da área foliar e da taxa de crescimento da planta (DUQUE et al., 2013).

Em virtude disto, os avanços da agricultura moderna tem buscado além de aumentar a produtividade das culturas sem aumentar a área plantada, reduzir as perdas pré e pós-colheita ocasionadas por agentes abióticos (GUST et al. 2010). Sendo assim, aumentar a qualidade das sementes tornou-se uma prioridade necessária para enfrentar a atual demanda por altos padrões do mercado agrícola (PAPARELLA et al., 2015). O conhecimento em diferentes níveis dos processos germinativos, através de ferramentas como a proteômica (TAN et al 2013; GALLAND et al., 2014), têm proporcionado mecanismos que visam alterar e melhorar o desempenho das sementes na agricultura (BEWLEY et al., 2013).

Nos últimos anos, o pré-tratamento de sementes passou a existir como uma estratégia promissora para enfrentar o estresse abiótico, sem afetar o potencial produtivo das culturas (VAN HULTEN et al., 2006). Este método consiste na indução das fases iniciais da germinação, fazendo com que se inicie uma série de processos, morfológicos (crescimento do eixo embrionário) e bioquímicos (síntese de enzimas), sem permitir que ocorra a protrusão da radícula, ocasionando na indução a tolerância a estresses abióticos como o déficit hídrico (PAPARELLA et al., 2015). Os pré-tratamentos/condicionamentos fisiológicos de sementes incluem hidrocondicionamento, osmocondicionamento, pré-tratamento químico, pré-tratamento hormonal, pré-tratamento biológico, entre outros (JISHA et al., 2013).

Embora o pré-tratamento melhore a taxa e a uniformidade de emergência e de crescimento, principalmente em condições de estresse (PARERA; CANTLIFFE, 1991), a eficácia dos diferentes agentes de pré-tratamento variam de acordo com o tipo de estresse (salino, déficit hídrico, etc.) e com a espécie (IQBAL; ASHRAF, 2005).

Além disso, não é surpresa pensar que pré-tratamentos em sementes com luz também possam induzir modificações moleculares e bioquímicas que resultem na indução de plantas tolerantes a estresses. De fato, a luz é fator limitante ou parte fundamental na indução da germinação em muitas espécies. Considerando os comprimentos de ondas da luz, os mais conhecidos sistemas biológicos que controlam a germinação envolvem a percepção do vermelho (V) ou vermelho extremo (VE) pelos fitocromos. A alta relação V/VE pode induzir a germinação de sementes por meio da forma ativa do fitocromo (FVe), enquanto a baixa relação V/VE pode reprimir a germinação por meio da forma inativa (FV) (VIDAVER, 1980). Adicionalmente, os criptocromos e as fototropinas são os receptores da luz azul e ultravioleta A (UV-A) (AHMAD; CASHMORE, 1993), com tudo, pouco se conhece sobre a ação de criptocromos em sementes (GOGGIN; STEADMAM, 2012). Entretanto, existem evidências de que a germinação de *Arabidopsis* seja mediada por criptocromos em conjunto com fitocromos (HENNIG et al., 2002, GOGGIN; STEADMAM, 2012). Um fotorreceptor para luz verde ainda é desconhecido, porém sementes de algumas espécies que foram expostas a luz verde tem apresentado respostas, como aumento e diminuição de biomassa e aumento de polifenóis na parte aérea em mudas de orquídeas (ISLAM et al., 1999, SOMMER; FRANKE, 2006, KHATTAK et al., 2007).

Desta forma objetivou-se com este trabalho testar a hipótese de que pré-tratamento com diferentes qualidades de luz em sementes de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) pode induzir tolerância ao déficit hídrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Tratamento com luz e a avaliação da germinação de sementes

Sementes de tomateiro da cultivar Moneymaker (MM) foram colocadas em bandejas de plástico pretas (uma para cada tratamento) contendo folhas de papel de filtro umedecidas com 120 mL de água destilada por um período total de 10 horas (experimento I) ou 20 horas (experimento II). As sementes foram submetidas a luz, simulada através dos diferentes comprimentos de ondas do espectro de ação: azul (400 - 485 nm), verde (500 - 565), vermelho (600 - 680 nm), vermelho extremo (680 - 720 nm). Além disso, as sementes permaneceram embebidas no escuro ou não receberam tratamento algum (NT). Decorridas 10 e 20 horas de embebição, as sementes foram colocadas para secar em bandejas plásticas contendo folhas de papel filtro por um período de 48 horas sob seus respectivos tratamentos (diferentes comprimentos de luz) (Figura 1).

Para obtenção dos comprimentos de ondas, as bandejas foram cobertas com uma placa de acrílico com espessura 4 mm nas cores: azul, vermelha, azul+vermelho (vermelho extremo), entretanto, para a cor verde, a bandeja foi coberta com duas folhas de papel celofane verde, e para o escuro utilizou-se uma lona plástica preta. Utilizou-se luz branca com lâmpadas fluorescentes ($60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$), como fonte de luz para as cores azul, verde e vermelho e, lâmpada incandescente de 60 W para o vermelho extremo. As sementes ficaram a uma distância de 35 cm da fonte de luz, sob temperatura média de 25°C.

Para análise de germinação, as sementes foram desinfetadas com solução de hipoclorito de sódio a 5% por 10 minutos. Posteriormente, lavadas três vezes com água destilada, onde 50 sementes (quatro repetições por tratamento) foram colocadas para germinar em caixas plásticas transparentes (11x11x3,5) contendo duas folhas de papel de filtro. As sementes foram colocadas para germinar na presença de 20 ml de água destilada ou 20 mL de solução com potencial osmótico

de - 0,1 MPa, o qual foi obtido com 78,49 g L⁻¹ de polietilenoglicol (PEG 6.000) (VILLELA et al., 1992).

Para análise da germinação, foi utilizado fotoperíodo de 12 horas com iluminação fornecida por luz branca (60 $\mu\text{mol m}^2 \text{s}^{-2}$), sob temperatura média de 25°C.

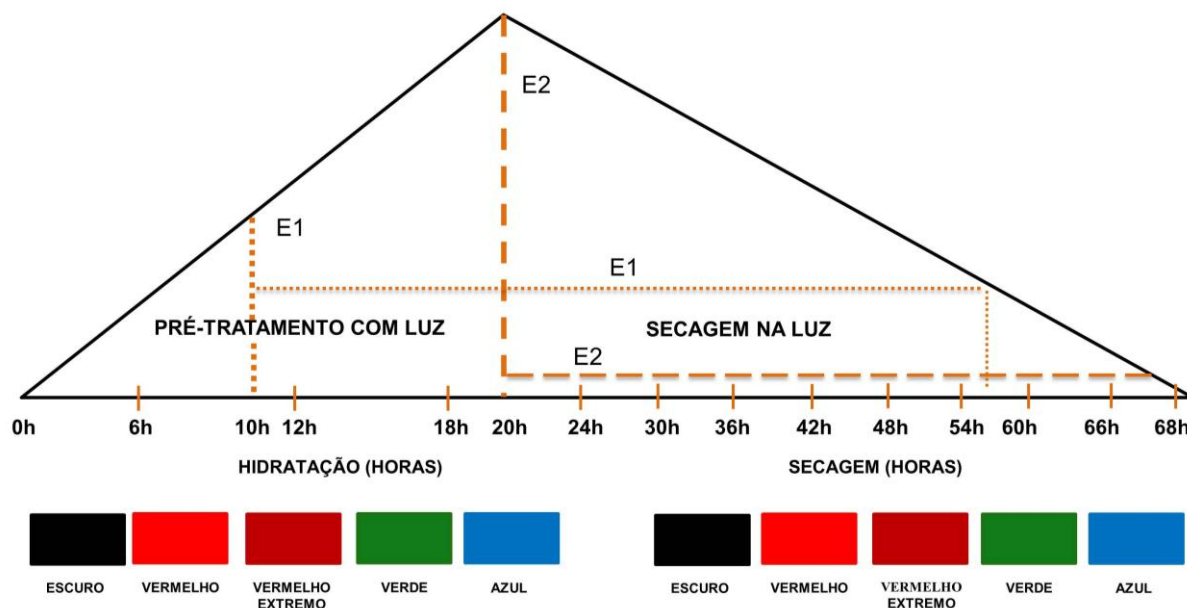


Figura 1. Esquema do pré-tratamento com luz em sementes de tomateiro durante 10 e 20 horas de embebição. Ao final desse período, as sementes foram postas para secar durante 48 h. É importante comentar que sementes permaneceram no escuro ou não foram pré-tratadas. E1= Experimento 1; E2= Experimento 2.

2.2. Avaliações da germinação de sementes

Durante 120 horas, foi avaliada, em intervalos de 12 horas, a porcentagem de sementes germinadas. Para isso, foi considerada as sementes que emitiram a raiz primária (2 mm).

Além disso, foi obtido o Índice de velocidade de germinação (IVG), o qual foi calculado de acordo com a fórmula proposta por Maguire (1962).

$$IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n}, \text{ onde:}$$

IVG = índice de velocidade de germinação.

G_1, G_2, G_n = número de plântulas computadas na primeira, na segunda e última contagens.

N_1, N_2, N_n = número de dias da semeadura à primeira, à segunda.....e à ultima contagens.

O tempo (horas) médio de germinação (TMG), proposto por Labouriau (1983) como segue a fórmula abaixo.

$$TMG = \frac{\sum N_i}{\sum T_i} \text{ onde:}$$

TMG = tempo médio de germinação (dias).

N_i = número de sementes germinadas no intervalo entre cada contagem.

T_i = tempo decorrido entre o início da germinação e a i-ésima contagem.

2.3. Crescimento

Após 10 dias do início da germinação, foram selecionadas aleatoriamente 10 plântulas de cada repetição para as análises de crescimento. O comprimento das raízes e do hipocótilo foi realizado com um paquímetro digital. Posteriormente, as raízes e os hipocótilos das plântulas foram postos para secar por 48 horas a 40°C em estufa de circulação de ar forçada para a obtenção da matéria seca. As plântulas foram pesadas em grupos de 10, as quais foram consideradas como repetição. As medidas de massa foram realizadas utilizando uma balança analítica modelo AA 200 (Denver Instrument Company) com precisão de 0,0001g.

2.4. Determinação do teor de pigmentos

A partir dos cotilédones, foram retirados 25 mg de amostras por repetição (com amostras em duplicata) e estas foram colocadas em tubos eppendorfe acrescidos de 1,5 ml de acetona P.A. A seguir, em condições de penumbra, os tubos foram envolvidos com papel alumínio e permaneceram por 48 horas sob agitação a 60 rpm a 4 °C. Após a agitação, a solução de extração contendo os pigmentos foi utilizada para leituras nos seguintes comprimentos de onda: Clorofila a em 662 nm (A_{662}); Clorofila b em 645 nm (A_{645}) e Carotenoides (caroteno [c] + xantofilas [x]) em 470 nm (A_{470}). Para o cálculo da concentração de clorofilas (Chl) e carotenóides (Car) foram utilizadas as seguintes fórmulas, segundo Lichtenthaler (1987):

$$C a = 11,24 [A_{661,6}] - 2,04 [A_{644,8}]$$

$$C b = 20,13 [A_{644,8}] - 4,19 [A_{661,6}]$$

$$C a + b = 7,05 [A_{661,6}] + 18,09 [A_{644,8}]$$

$$C c + x = (1000 [A_{470}] - 1,90 [C a] - 63,14 [C b]) / 214 \text{ onde:}$$

C a = Clorofila a

C b = Clorofila b

C a + b = Clorofila a + b

C c + x = Caroteno + xantofilas

A = Absorbância

O conteúdo de clorofilas totais (Chla+b) e carotenoides foi expresso em µg do pigmento por grama de massa fresca ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$).

Para obtenção do teor de antocianinas hipocótilos foram segmentados e, a partir deles, pesados 45 mg. O material obtido foi colocado em tubos Eppendorf (2 mL) com o acréscimo de 0,48 mL de metanol acidificado (1% de HCl, v/v). Posteriormente, as amostras permaneceram sob agitação a 60 rpm por 48 horas no escuro a 4 °C. Após este período, foram adicionados 0,36 mL de água destilada e 0,96 mL de clorofórmio. As amostras foram levadas para centrifugação por 15

minutos a 5.000 rpm, e o sobrenadante contendo antocianinas foi coletado para leitura da absorbância a 535 nm (A_{535}) (PETERS et al.,1989). Para o cálculo da concentração de antocianina foi utilizada a fórmula proposta por CARVALHO et al., 2010:

$$\text{Ant.} = A_{535} / 45$$

O Conteúdo de antocianina foi expresso em μg do pigmento por grama de massa fresca ($\mu\text{g g}^{-1}$).

2.5. Delineamento experimental e análise estatística

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 6x2 (tratamentos de luz x condições de germinação e crescimento, água e PEG). Cada tratamento foi composto por 4 repetições de 50 sementes cada (totalizando 200 sementes por tratamento). Os dados obtidos foram submetidos a análise de variância pelo teste F, tendo as médias comparadas pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Sendo realizada uma análise para cada experimento. Os resultados foram apresentados e discutidos em função das respostas das variáveis estudadas principalmente na condição de déficit hídrico, ressaltando que os tratamentos na condição de água foram tidos como controle em relação a condição (água x PEG).

3. RESULTADOS

3.1. Experimento I

O pré-tratamento das sementes com luz durante 10 horas não foi suficiente para promover o incremento na germinação das sementes sob o déficit hídrico, quando comparadas a porcentagem de germinação dos pré-tratamentos de luz com o não tratado (Nt) (Tabela 1). Sementes que foram embebidas e expostas a luz verde (Vd) resultaram em uma maior porcentagem de germinação. Entretanto, esta porcentagem se diferencia apenas do tratamento com vermelho (V) e vermelho extremo (Ve). As semente pré-tratadas com Ve apresentaram porcentagem de germinação (PGM) inferior, com uma redução de 16% em comparação com Nt.

Resultados semelhantes aos anteriores foram observados para o tempo médio de germinação (TMG) e índice de velocidade de germinação (IVG) (Tabela 1), pois os pré-tratamentos com 10 horas de embebição e exposição a luz não foram suficientes para melhorar o TMG e o IVG em relação ao Nt em condição estressora. Entretanto, o tratamento com luz Ve apresentou o maior TMG e menor IVG comparado aos demais tratamentos.

Tabela 1. Porcentagem de germinação (PGM), tempo (h) médio de germinação (TMG) e índice de velocidade de germinação (IVG) em sementes de tomateiro postas para germinar em água (H₂O) ou solução de polietilenoglicol (PEG; - 0,1 MPa) e pré-tratadas com luz durante 10 horas. Para os tratamentos com luz, foram considerados os seguintes comprimentos de onda: Vermelho (V); Vermelho extremo (Ve); Verde (Vd); Azul (A), bem como sementes permaneceram no escuro (E) ou não foram pré-tratadas (Nt).

Tratamentos	PGM		TMG		IVG	
	H ₂ O	PEG	H ₂ O	PEG	H ₂ O	PEG
Nt	98a	89ab*	72bc	97b*	0,70abc	0,47a*
E	100a	91ab*	70c	94b*	0,74a	0,49a*
V	100a	86b*	69c	97b*	0,74a	0,45a*
Ve	98a	73c*	79a	102a*	0,64c	0,36b*
Vd	99a	96a	71bc	99ab*	0,73ab	0,49a*
A	98a	91ab*	76ab	97ab*	0,67bc	0,47a*

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Médias com asterisco (*) indicam diferença entre as médias na condição de estresse (PEG) e condição controle (H₂O), dentro de cada variável.

O comprimento de parte aérea (CPA) das plântulas do Nt e do pré-tratamento com luz azul, juntamente com o comprimento de raiz (CR) do Nt, E, Ve, e Vd foram reduzidos na condição de estresse, quando comparados com a condição controle

(Tabela 2). Entretanto, na condição estressora não houve diferença do CPA e CR entre as médias dos tratamentos. O mesmo fato pode ser verificado para matéria seca de parte aérea (MSPA) e raiz (MSR), ou seja, os pré-tratamentos com luz não proporcionaram diferença no acúmulo de matéria seca das plântulas com relação ao Nt (Tabela 2).

Tabela 2. Comprimento (cm) de parte aérea (CPA), comprimento (cm) de raiz (CR), biomassa (g) seca de parte aérea (MSPA), biomassa (g) seca de raiz (MSR) de plântulas de tomateiro advindas de sementes postas para germinar em água (H₂O) ou solução de polietilenoglicol (PEG; - 0,1 MPa) e pré-tratadas com luz durante 10 horas. Para os tratamentos com luz, foram considerados os seguintes comprimentos de onda: Vermelho (V); Vermelho extremo (Ve); Verde (Vd); Azul (A), bem como sementes permaneceram no escuro (E) ou não foram pré-tratadas (Nt).

Tratamentos	CPA		CR		MSPA		MSR	
	H ₂ O	PEG	H ₂ O	PEG	H ₂ O	PEG	H ₂ O	PEG
Nt	3,31a	1,77a*	8,07a	5,35a*	0,0129a	0,0118ab	0,0053a	0,0049a
E	2,41b	2,15a	9,46a	6,30a*	0,0126a	0,0132ab	0,0060a	0,0049a*
V	2,51ab	2,19a	7,44a	6,18a	0,0134a	0,0109b*	0,0053a	0,0044a*
Ve	2,64ab	2,17a	8,79a	6,34a*	0,0129a	0,0124ab	0,0049ab	0,0047a
Vd	2,59ab	2,16a	8,08a	5,98a*	0,0123a	0,0127ab	0,0049ab	0,0045a
A	2,90ab	2,03a*	7,49a	6,05a	0,0135a	0,0139a	0,0039b	0,0048a*

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Médias com asterisco (*) indicam diferença entre as médias na condição de estresse (PEG) e condição controle (H₂O), dentro de cada variável.

Os teores de clorofila total foram reduzidos na condição de estresse comparada com a condição de água, exceto para a o tratamento V (Tabela 3). Contudo, não houve diferença nos teores de clorofila total dos tratamentos, mesmo quando comparados ao Nt. Os teores de carotenoides não diferiram entre os tratamentos e as condições hídricas (Tabela 3). Para antocianina também não foram encontradas diferenças entre os tratamentos e as condições, exceto as plântulas cuja as sementes foram anteriormente tratadas com luz V, a qual apresentou diminuição no teor de antocianina na condição de estresse comparada com a condição de água (Tabela 3).

Tabela 3. Teores ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de cotilédone) de clorofila totais (CLR Totais), carotenoides ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de cotilédone) (CAR) e antocianinas ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de cotilédone) (ANT) de hipocótilo) em plântulas de tomateiro advindas de sementes postas para germinar em água (H_2O) ou solução de polietilenoglicol (PEG; - 0,1 MPa) e pré-tratadas com luz durante 10 horas. Para os tratamentos com luz, foram considerados os seguintes comprimentos de onda: Vermelho (V); Vermelho extremo (Ve); Verde (Vd); Azul (A), bem como sementes permaneceram no escuro (E) ou não foram pré-tratadas (Nt).

Tratamentos	CLR Totais		CAR		ANT	
	H_2O	PEG	H_2O	PEG	H_2O	PEG
NT	0,40432a	0,32579a*	0,11666a	0,10273a	0,00547a	0,00601a
E	0,35909a	0,29668a*	0,10823a	0,09105a	0,00521a	0,00516a
V	0,39055a	0,34600a	0,09431a	0,10594a	0,00683a	0,00493a*
Ve	0,37964a	0,29953a*	0,10810a	0,09948a	0,00479a	0,00578a
Vd	0,42259a	0,32704a*	0,11880a	0,10466a	0,00688a	0,00606a
A	0,43492a	0,33807a*	0,12015a	0,10467a	0,00548a	0,00674a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Médias com asterisco (*) indicam diferença entre as médias na condição de estresse (PEG) e condição controle (H_2O), dentro de cada variável.

3.2. Experimento II

O potencial osmótico de -0,1 MPa reduziu a germinação das sementes de tomateiro não tratadas (14%). Bem como as pré-tratadas com luz Ve (17%), Vd (36%) e A (22%) durante 20 horas, comparada com a condição de água (Tabela 4). O pré-tratamento com luz vermelha proporcionou a maior porcentagem de germinação sob condição de estresse, contudo não diferencia-se do Nt e do escuro (E). O pré-tratamento com luz Vd ocasionou em uma menor porcentagem de germinação na condição de estresse, uma redução de 34%, quando comparado com o pré-tratamento de luz V.

Pode-se observar que o TMG na condição de estresse foi superior em relação às sementes germinadas em água, independente da luz aplicada, até mesmo as sementes que não receberam tratamento; fato inverso pode ser verificado para o IVG, onde nas mesmas condições ocorreu uma redução (Tabela 4). O pré-tratamento com luz V melhorou o TMG e o IVG das sementes na condição

estressora comparado como o Nt. O pré-tratamento com luz Vd, A, Ve e Nt apresentaram os maiores TMG e menores IVG respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4. Porcentagem de germinação (PGM), tempo (h) médio de germinação (TMG) e índice de velocidade de germinação (IVG) em sementes de tomateiro postas para germinar em água (H₂O) ou solução de polietilenoglicol (PEG; - 0,1 MPa) e pré-tratadas com luz durante 20 horas. Para os tratamentos com luz, foram considerados os seguintes comprimentos de onda: Vermelho (V); Vermelho extremo (Ve); Verde (Vd); Azul (A), bem como sementes permaneceram no escuro (E) ou não foram pré-tratadas (Nt).

Tratamentos	PGM		TMG		IVG	
	H ₂ O	PEG	H ₂ O	PEG	H ₂ O	PEG
Nt	92a	78ab*	68ab	90ab*	0,71ab	0,45bc*
E	91a	85ab	56b	77bc*	0,87a	0,59ab*
V	94a	92a	64ab	76c*	0,83a	0,66a*
Ve	93a	76b*	67ab	88abc*	0,73ab	0,45bc*
Vd	91a	58c*	75a	92a*	0,64ab	0,34c*
A	93a	71bc*	72a	91ab*	0,69b	0,41c*

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Médias com asterisco (*) indicam diferença entre as médias na condição de estresse (PEG) e condição controle (H₂O), dentro de cada variável.

Os pré-tratamentos com Ve, Vd e A apresentaram os menores CPA na condição estressora. Contudo, os tratamentos com V e E não se diferenciaram do Nt (Tabela 5). O CPA das plântulas da condição estressora do Nt, Ve, Vd e A foi reduzido em relação a condição de água. Na condição de baixo potencial osmótico, verifica-se para CR não haver diferença entre o Nt e as demais condições de luz. Enquanto é caracterizado um aumento no CR do Nt, E, V e Ve ao se considerar a condição de água. Constata-se também não haver diferença entre as médias da MSPA e MSR dos pré-tratamentos comparadas ao Nt.

Tabela 5. Comprimento (cm) de parte aérea (CPA), comprimento (cm) de raiz (CR), biomassa (g) seca de parte aérea (MSPA), biomassa (g) seca de raiz (MSR) de plântulas de tomateiro advindas de sementes postas para germinar em água (H₂O) ou solução de polietilenoglicol (PEG; - 0,1 MPa) e pré-tratadas com luz durante 20 horas. Para os tratamentos com luz, foram considerados os seguintes comprimentos de onda: Vermelho (V); Vermelho extremo (Ve); Verde (Vd); Azul (A), bem como sementes permaneceram no escuro (E) ou não foram pré-tratadas (Nt).

Tratamentos	CPA		CR		MSPA		MSR	
	H ₂ O	PEG	H ₂ O	PEG	H ₂ O	PEG	H ₂ O	PEG
Nt	3,17a	2,57a*	7,69ab	9,29a*	0,0116a	0,0116a	0,0054a	0,0061a
E	2,66b	2,64a	7,74ab	9,62a*	0,0110a	0,0112a	0,0049a	0,0068a*
V	2,62b	2,63a	6,52bc	9,61a*	0,0114a	0,0122a	0,0054a	0,0070a*
Ve	3,04a	2,18b*	5,79c	8,48a*	0,0124a	0,0111a	0,0050a	0,0063a*
Vd	2,53b	2,23b*	8,73a	8,92a	0,0130a	0,0123a	0,0061a	0,0061a
A	2,50b	2,08b*	8,42a	9,28a	0,0121a	0,0111a	0,0057a	0,0062a

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Médias com asterisco (*) indicam diferença entre as médias na condição de estresse (PEG) e condição controle (H₂O), dentro de cada variável.

As médias dos teores de clorofila total e carotenoides não apresentaram diferença na condição estressora (Tabela 6). Os pré-tratamentos com V e Ve tiveram uma redução dos teores dos mesmos pigmentos na condição de estresse comparada com a condição de água para os respectivos tratamentos (Tabela 6). Para a antocianina, o maior teor foi observado nas plântulas que tiveram suas sementes pré-tratadas durante 20 horas com luz Vd e submetidas à restrição.

Tabela 6. Teores ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de cotilédone) de clorofila totais (CLR Totais), carotenoides ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de cotilédone) (CAR) e antocianinas ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de cotilédone) (ANT) de hipocótilo) em plântulas de tomateiro advindas de sementes postas para germinar em água (H_2O) ou solução de polietilenoglicol (PEG; - 0,1 MPa) e pré-tratadas com luz durante 20 horas. Para os tratamentos com luz, foram considerados os seguintes comprimentos de onda: Vermelho (V); Vermelho extremo (Ve); Verde (Vd); Azul (A), bem como sementes permaneceram no escuro (E) ou não foram pré-tratadas (Nt).

Tratamentos	CLR Totais		CAR		ANT	
	H_2O	PEG	H_2O	PEG	H_2O	PEG
Nt	0,38368bc	0,34004a	0,10240b	0,09951a	0,00398bc	0,00538b*
E	0,32607c	0,29721a	0,08541b	0,08528a	0,00571ab	0,00634b
V	0,57366a	0,37963a*	0,14514a	0,10605a*	0,00291c	0,00532b*
Ve	0,51747ab	0,23690a*	0,13773a	0,07323a*	0,00414abc	0,00615b*
Vd	0,3260c	0,29661a	0,08634b	0,08712a	0,00616a	0,00856a*
A	0,34179c	0,28346a	0,0844b	0,08052a	0,00527ab	0,00730ab*

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5%. Médias com asterisco (*) indicam diferença entre as médias na condição de estresse (PEG) e condição controle (H_2O), dentro de cada variável.

4. DISCUSSÃO

O condicionamento fisiológico por meio de pré-tratamentos de sementes com diferentes soluções tem sido uma importante estratégia para melhorar a germinação e o crescimento de muitas espécies sob estresses abióticos. Dessa forma, visto que muito tem sido mostrado que a qualidade da luz fortemente pode controlar a germinação e o crescimento de plantas, foi esperado que o pré-tratamento com V, Ve, Vd e A associado ao hidrocondicionamento fosse capaz de induzir em sementes e plântulas de tomateiro a tolerância ao déficit hídrico. O que de fato aconteceu, pois o pré-tratamento das sementes durante 20 horas com luz V melhorou o TMG e IVG, comparado ao Nt, (Tabela 4). Essa melhora pode ser atribuída a luz V, já que não houve diferença do E em relação ao Nt. A luz vermelha ao ser percebida pelos fitocromos desencadeia uma série processos bioquímicos como aumento da biossíntese de giberilina (GA_3) um importante precursor da germinação, o que ocorre logo após a reidratação da semente (TOYOMASU et al., 1998).

Adicionalmente o condicionamento fisiológico faz com que o processo de germinação se inicie, ocorrendo reparo de danos ocasionados nos tecidos e moléculas, síntese de enzimas, degradação de macromoléculas, como amido, e com isso a retomada do crescimento do eixo embrionário, ao passo que não ocorra à protrusão da radícula, sem afetar negativamente a capacidade de tolerância da semente a dessecação. Assim, posteriormente posta para germinar, a semente completará o processo de germinação mais rapidamente e com uma maior uniformidade, quando comparada com aquelas sementes não tratadas (LEE; KIM, 2000; BEWLEY; BLACK, 2013; PAPARELLA et al., 2015). Aliado a uma germinação mais rápida e uniforme, é possível que as plântulas também possam aumentar o seu crescimento e acúmulo de biomassa seca devido a maior absorção de água, mesmo sob condição de estresse abiótico (YAGMUR; KAYDAN, 2008), porém não foram encontrados aumentos no crescimento das plântulas em ambos os experimentos.

Os fitocromos são cromoproteínas interconvertíveis entre a forma inativa e ativa. Quando a forma inativa absorve luz vermelha ou até mesmo um pouco de luz azul, altera a conformação estrutural de seu cromóforo e se converte na forma ativa (F_{ve}), e ao absorver na faixa do vermelho extremo retorna à forma inativa (F_v) (VICTÓRIO; LAGES, 2009). Na maioria das sementes, a maior taxa germinativa ocorre na região vermelha, seguido por uma zona de inibição na região do vermelho extremo (PIÑA-RODRIGUES, 1988; SMITH, 2000). A forma ativa do fitocromo é responsável pelo estímulo à germinação das sementes de várias espécies. Este estímulo à germinação depende do balanço entre F_{ve}/F_v, e quando essa taxa é maior, as sementes são estimuladas a germinar. Por outro lado, quando a razão F_{ve}/F_v é menor, ocorre a inibição da germinação, o que provavelmente pode ter ocorrido no experimento II, onde sementes pré-tratadas durante 20 horas com V_e resultou em uma menor porcentagem de germinação em relação às sementes pré-tratadas com V.

O pré-tratamento das sementes com luz verde durante 20 horas reduziu consideravelmente a porcentagem da germinação (36%) quando observado o pré-tratamento durante 10 horas com a mesma luz (58% e 96%, respectivamente), sugerindo assim uma resposta antagônica da luz verde à germinação de sementes

de tomateiro, o que leva a crer que a maior porcentagem de germinação (96%) deve-se apenas a embebição das sementes (Tabela 1 e 4).

Baixos teores de clorofilas e carotenóides podem atuar como fortes indicadores de estresse abiótico (AHMAD et al., 2010; ZHU et al., 2014), desta forma os teores destes pigmentos foram reduzidos na condição de estresse, porém, não houve diferença entre os tratamentos sob déficit hídrico em ambos os experimentos (Tabela 3 e 6). O aumento nos teores das antocianinas podem ocorrer com a função de atenuar os danos ocasionados pelo estresse, de fato isto aconteceu em plântulas que tiveram suas sementes pré-tratadas com 20 horas de exposição à luz Vd, apenas este tratamento apresentou maior teor de antocianinas (Tabela 6), o que reforça o fato de que a luz verde pode agir como antagonista à germinação de sementes de tomateiro, pois o mesmo tratamento apresentou a menor porcentagem de germinação (58%) sob déficit hídrico (Tabela 4).

4.1. Considerações

O sucesso do condicionamento fisiológico é fortemente correlacionado com a espécie bem como o método de condicionamento aplicado (JISHA et al., 2013; PAPARELLA et al., 2011). Dessa forma, embora apenas o pré-tratamento com V possa melhorar a germinação de sementes, é necessário considerar que diferentes períodos de exposição e qualidade da luz associados ao hidrocondicionamento podem ainda ser explorados com o objetivo de induzir a tolerância de tomateiro, bem como de outras espécies economicamente importantes, a estresses abióticos. Com isto conclui-se que o pré-tratamento de sementes de tomateiro com luz vermelha durante 20 horas pode induzir tolerância ao déficit hídrico.

5. REFERÊNCIAS

AHMAD, M.; CASHMORE, A. R. HY4 gene of *A. thaliana* encodes a protein with characteristics of a blue-light receptor. **Nature**, 366, 162–166, 1993.

BEWLEY, J. D.; BRADFORD, K. J.; HILHORST, H. W. M.; NONOGAKI, H. **Seeds: Physiology of development, germination and dormancy**. New York, 2013. p. 392.

CARVALHO, R. F.; QUECINI, V.; PERES, L. E. P. Hormonal modulation of photomorphogenesis-controlled anthocyanin accumulation in tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv Micro-Tom) hypocotyls: Physiological and genetic studies. **Plant Science**, v. 178, p. 258-264, 2010.

DUQUE, S.; ALMEIDA, A. M.; SILVA, A. B.; SILVA, J. M.; FARINHA, A. P.; SANTOS, D.; FEVEREIRO, P.; ARAÚJO, S. S. Abiotic stress responses in plants: unraveling the complexity of genes and networks to survive. In: VAHDATI, K.; LESLIE, C. **Abiotic stress - plant responses and applications in agriculture**. Croatia, Rijeka: Tech, 2013. p.49-102.

FISCHLIN, A.; MIDGLEY, G. F.; PRICE, J. T.; LEEMANS, R.; GOPAL, B.; TURLEY, C.; ROUNSEVELL, M.; DUBE, P.; TARAZONA, J.; VELICHKO, A., 2007. Ecosystems, their properties, goods and services. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. In: Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van der Linden, P.J., Hanson, C.E. (Eds.). **Contribution of working group ii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 211–272.

GALLAND, M.; HUGUET, R.; ARC, E.; CUEFF, G.; JOB, D.; RAJJOU, L. Dynamic proteomics emphasizes the importance of selective mRNA translation and protein turnover during Arabidopsis seed germination. **Mol Cell Proteomics**, v. 13, p. 252–268, 2014.

GOGGIN, D.E.; STEADMAN, K. J. Blue and green are frequently seen: responses of seeds to short- and mid-wavelength light. **Seed Science Research**, v. 22, p. 27 – 35, 2012.

GUST, A.A.; BRUNNER, F, NURNBERGER, T. Biotechnological concepts for improving plant innate immunity. **Curr Opin Biotechnol**, v. 21, p. 204–210, 2010.

HENNIG, L.; STODDART, W. M.; DIETERLE, M.; WHITELAM, G.C.; SCHAFER E. Phytochrome e controls lightinduced germination of *Arabidopsis*. **Plant Physiology**, v. 128, p. 194–200, 2002.

ISLAM, M. O.; MATSUI, S.; ICHIHASHI, S. Effects of light quality on seed germination and seedling growth of *Cattleya* orchids in vitro. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 68, p. 1132–1138, 1999.

IQBAL, M.; ASHRAF, M. Changes in growth, photosynthetic capacity and ionic relations in spring wheat (*Triticum aestivum* L.) due to presowing seed treatment with polyamines. **Plant Growth Regul**, v. 46, p.19–30, 2005.

JISHA, K. C.; VIJAYAKUMARI, K.; PUTHUR, J. T. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 1381–1396, 2013.

KHATTAK, A. B.; ZEB, A.; BIBI, N.; KHALIL, S. A.; KHATTAK, M. S. (2007) Influence of germination techniques on phytic acid and polyphenols content of chickpea (*Cicer arietum* L.) sprouts. **Food Chemistry**, v. 104, p. 1074–1079, 2007.

KNAPP, A.K., BRIGGS, J.M., KOELLIKER, J.K. Frequency and extent of water limitation to primary production in a mesic temperate grassland. **Ecosystems**, v. 4, p. 19–28, 2001.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.

LISAR, S. Y. S.; MOTAFAKKERAZAD, R.; HOSSAIN, M. M.; RAHMAN, M. M. **Water stress in plants: causes, effects and responses**. InTech Europe, Rijeka, Croatia, 2012, p. 3-4.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, v. 2, p. 176-177, 1962.

PAPARELLA, S.; ARAÚJO, S. S; ROSSI, G.; WIJAYASINGHE, M; CARBONERA, D; BALESTRAZZI, A. Seed priming: state of the art and new perspectives. **Plant Cell Rep**, v. 34, p. 1281–1293, 2015.

PARERA, C.A.; CANTLIFFE, D. J. Improved germination and modified imbibitions of shrunken-2 sweet corn by seed disinfection and solid matrix priming. **Journal of the American Society for Horticultural Science** , v. 116, p. 942–945, 1991.

PETERS, J. L.; VAN TUINEN, A.; ADAMSE, P.; KENDRICK, R. E.; KOORNNEEF, M. High pigment mutants of tomato exhibit high sensitivity for phytochrome action. **Journal of Plant Physiology**, v. 134, p. 661-666. 1989.

PIÑA-RODRIGUES, F. C. M. **Manual de análise de sementes florestais**. Fundação Cargil. p. 30-37. 1988.

SMITH, H. Phytochromes and light signal perception by plants - an emerging synthesis. **Nature**, v. 407, n. 6804, p. 585-591, 2000.

SOMMER, A. P.; FRANKE, R. P. Plants grow better if seeds see green. **Naturwissenschaften**, v. 93, p. 334–337, 2006.

SOMERVILLE, C.; BRISCOE, J. Genetic engineering and water. **Science**, v. 292, p. 2217, 2001.

TAN, L.; CHEN, S.; WANG, T.; DAI, S. Proteomic insights into seed germination in response to environmental factors. **Proteomics**, v. 13, p. 1850–1870, 2013.

VAN HULTEN, M.; PELSER, M.; VAN LOON, L. C.; PIETERSE, C. M. J.; TON, J. Costs and benefits of priming for defense in Arabidopsis. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, p. 5602–5607, 2006.

VICTÓRIO, C. P.; LAGE, C. L. S. Efeitos da qualidade de luz na germinação e desenvolvimento inicial in vitro de *Phyllanthus tenellus*. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 3, p. 400-405, 2009

VIDAVER, W. Light and seed germination. In: KHAN, A. A. (ed.). **The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination**. New York: North-Holland Publishing Company, p. 181-192, 1980.

YAGMUR, M.; KAYDAN, D. Alleviation of osmotic strength of water and salt in germination and seedling growth of triticale with seed priming treatments. **African Journal of Biotechnology**, v. 7, p. 2156–2162, 2008.

CAPÍTULO 3 - Pré-tratamentos com ultravioleta-B em sementes de tomateiro para indução da tolerância ao déficit hídrico.

RESUMO - O condicionamento fisiológico de semente é um evento que pode induzir à tolerância das plantas a diversos estresses abióticos. Neste processo, dentre vários agentes utilizados, os tratamentos em sementes com soluções indutoras de respostas a estresse, tais como baixo potencial osmótico induzido por polietilenoglicol (PEG) e sais inorgânicos, bem como uso de metais, têm induzido a tolerância a estresse em várias espécies. Isso indica que agentes estressores possam induzir mudanças bioquímicas nas sementes capazes de permitir que as próprias sementes ou plântulas possam tolerar o estresse, especialmente o déficit hídrico. Desta forma, o objetivo neste trabalho foi avaliar a germinação de sementes e o crescimento do tomateiro durante o déficit hídrico após as sementes serem pré-tratadas com luz ultravioleta-B, uma radiação eletromagnética altamente energética. Para isso, sementes foram postas para embeber por 20 horas. Após 10 horas de embebição as sementes foram exposta à luz UV-B ou branca por um período de 0, 1, 2, 3 e 4 horas, seguido de privação da luz. Após o período de embebição, foram postas para secar na ausência da luz. Após 48 horas, as sementes foram postas para germinar em água ou solução com potencial osmótico de - 0,1 MPa induzido por PEG. Sementes não tratadas tiveram redução na percentagem de germinação sob déficit hídrico. Por outro lado, as sementes que receberam pré-tratamentos tiveram melhora principalmente na porcentagem de germinação, tempo médio de germinação e índice de velocidade de germinação. O pré-tratamento ou hidrocondicionamento de sementes de tomateiro pode induzir a tolerância ao déficit hídrico.

Palavras-chave: Estresse abiótico, Fotomorfogênese, Hidrocondicionamento, *Solanum lycopersicum* L

CHAPTER 3 – Seed priming with ultraviolet-B in tomato seeds for induction to water deficit tolerance.

ABSTRACT – The physiological conditioning of seeds is an event that can induce plants for tolerance to different abiotic stresses. In this process, among various agents utilized, seed treatments with solutions that induce stresses answers, such as low osmotic potential induced by polyethylene glycol (PEG) and organic salts, as well as use of metals, have been induced the stress tolerance in many species. This indicate that stress agents can induce biochemical changes in seeds able to allow that the own seed or seedlings can tolerate stress especially the water deficit. In this way, the objective of this work was to evaluate the tomato seed germination and growth during water deficit after pre-treating seeds with ultraviolet-B, a highly energetic electromagnetic radiation. For this, seeds were imbibed for 20 hours, after 10 hours of imbibition the seeds were exposed to UV-B light or white for a period of 0, 1, 2, 3 and 4 hours, followed by light privation. After imbibition period the seed were dried in the light absence. After 48 hours, the seeds were put to germinate in water or solution with osmotic potential of -0,1 MPa induced by PEG. Seeds non treated showed decrease in the germination percentage under water deficit, in the other hand the seeds pre-treated had good results principally in the germination percentage, average time to germinate and speed of germination index. The pre-treatment or hydropriming of tomato seeds can induce the water deficit tolerance.

Keywords: Abiotic stresse, Photomorphogenesis, Hydropriming, *Solanum lycopersicum* L.

1. INTRODUÇÃO

O déficit hídrico está entre as principais restrições para o cultivo de espécies de interesse agrícola, e estimativas prevêm que este fato se agravará ao longo dos anos em função das mudanças climáticas, as quais resultarão em mudança no regime de distribuição de chuvas, expansão das áreas áridas e incremento da salinidade (SKIRYCZ; INZÉ, 2010; DAI, 2011; SARDANS; PEÑUELAS, 2013). Consequentemente, tornam-se evidentes a degradação dos solos e a falta de umidade, expondo assim as plantas a uma série de combinações de estresses abióticos. Por exemplo, os solos secos impõem uma maior resistência ao desenvolvimento do sistema radicular, enquanto a água e os nutrientes tornam-se menos disponíveis às plantas. Dessa forma, as plantas submetidas ao déficit hídrico podem reduzir severamente o crescimento vegetal, poupando ou redistribuindo assimilados que podem tornar-se escassos em condições de estresse extremo (GRANIER; TARDIEU, 1999; SKIRYCZ; INZÉ, 2010), bem como induzir uma série de alterações moleculares e bioquímicas (CHAPMAN et al., 2011; LEACH et al., 2011; HOCHBERG et al., 2013; CALVO-POLANCO et al., 2014; MEYER et al., 2014; QAZI et al., 2014; SELLIN et al., 2014).

Desde o melhoramento convencional à engenharia genética, técnicas têm sido empregadas a fim de promover o desenvolvimento adequado e as respostas adaptativas das plantas às condições estressoras (Jisha et al., 2013). Entretanto, essas técnicas apresentam limitações devido às complexidades metodológicas, requerendo elevados investimentos e, em alguns casos, períodos longos para executá-las (FLOWERS et al., 1997; CUSHMAN; BOHNERT 2000; FLOWRES et al., 2000; JISHA et al., 2013). Por conta das limitações citadas anteriormente, fez-se necessário o desenvolvimento de técnicas que, ao mesmo tempo, fossem simples, de baixo custo e induzissem a tolerância das plantas a vários estresses.

As evidências mostram, por exemplo, que o condicionamento de semente induz à tolerância das plantas a diversos estresses abióticos, como déficit hídrico (SUN et al., 2010), salinidade (BAKHT et al., 2011) e metais pesados (GALHAUT et al., 2014). Essa técnica consiste na embebição das sementes em soluções naturais

ou sintéticas, em condições controladas (temperatura, luz e tempo), seguida ou não da secagem das sementes até o estado padrão. Dessa forma, há indução da germinação sem permitir que este evento ocorra, ao mesmo tempo em que uma série de informações moleculares e bioquímicas tenham sido armazenadas, as quais, durante a germinação e crescimento da plântula, podem induzir a tolerância ao estresse (FAROOQ et al., 2013). Nos últimos anos esta técnica obteve maior atenção, em virtude de seus efeitos positivos na indução de tolerância a estresses abióticos em espécies vegetais (PAPARELLA et al., 2015).

Até agora, vários agentes químicos foram utilizados como soluções de condicionamento de sementes, por exemplo, o polietileno glicol (PEG) (Galhaut et al., 2014), NaCl (BAKHT et al., 2011), manitol (TOSELLIE; CASENAVE, 2014), KNO₃ (SINGH et al., 2014.); KCl (ELOUAERE; HANNACHI, 2012) e CaCl₂ (REHMAN et al, 2011), nutrientes, tais como N, P e K (Al-MUDARISE; JUTZI, 1999), Zinco (PROM-U-THAI et al., 2012) e Cu (BEGUM et al, 2014), hormônios, como auxinas (Heydariyan et al., 2014), brassinolídeo (ZHANG et al., 2007), etileno (CARVALHO et al., 2011) e ácido salicílico (SHARAFIZAD et al., 2013), além de uma vasta gama de outras moléculas, como ácido ascórbico (FAROOQ et al., 2013), selênio (NAWAZ et al., 2012), butenolídeo (DEMIR et al., 2012), colina (SALAMA et al., 2011) quitosana (MAHDAVI; RAHIMI, 2013) H₂O₂ (SANTHY et al., 2014), NO (AMOOAGHAIE; NIKZAD, 2013) e tioureia (PATADE et al., 2012).

Entre as diversas soluções utilizadas no condicionamento de sementes, existem algumas que comumente são indutoras de estresse, este fato deve-se que durante a embebição, a semente retém informações bioquímicas no estado padrão que podem promover uma série de mecanismos de tolerância a estresses. Porém, não somente compostos químicos podem induzir respostas a estresses em plantas. Por exemplo, as altas radiações luminosas, como o ultravioleta-B (UV-B), tem progressivamente atingido a superfície da terra por conta da degradação da camada de ozônio, causando danos severos aos seres-vivos (FAROKH et al., 2010). Entretanto, embora alguns trabalhos tenham relatado os efeitos negativos da radiação UV-B na germinação de sementes de algumas espécies, (KRIZEK, 1975; TEVINI et al., 1983; TOSSERAMS et al, 1997; DAI; UPADHYAYA, 2002; HOCK Et al, 2015) a exposição das plantas a radiação UV-B pode induzir a produção de

metabólitos secundários (FAROKH et al., 2010), tais como flavonóides, assumindo-se que as plantas podem usar defesas fitoquímicas para evitar essa radiação prejudicial (RHULAND ; DAY, 2000; STAAIJ et al., 2002).

Desta forma, o objetivo neste estudo foi testar a hipótese de que pré-tratamentos com radiação UV-B em sementes de tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) possam induzir a tolerância ao déficit hídrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Tratamento com UV-B e a avaliação da germinação de sementes

Sementes de tomateiro da cultivar Moneymaker (MM) foram postas em caixas de plástico escuras contendo duas folhas de papel de filtro umedecidas com 20 mL de água destilada por um período total de 20 horas. Decorridas 10 horas de embebição, as sementes foram expostas a luz branca ou UV-B por períodos de 1, 2, 3 e 4 horas, bem como sementes permaneceram no escuro (0 hora de exposição as luzes, porém foram embebidas) ou não receberam nenhum tratamento (NT). Após os tratamentos com luz, as sementes permaneceram no escuro por mais 10, 9, 8, 7, e 6 horas respectivamente (completando as 20 horas de embebição), para que pudessem posteriormente serem postas para secar no escuro em caixas gerbox contendo duas folhas de papel filtro por um período de 48 horas (Figura 1).

Para obtenção da luz branca utilizou-se lâmpadas fluorescentes ($60 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$), para UV-B, foram utilizadas lâmpadas de mercúrio emissoras de 280-320 nm a uma distância de 35 cm das sementes, sob temperatura média de 25°C.

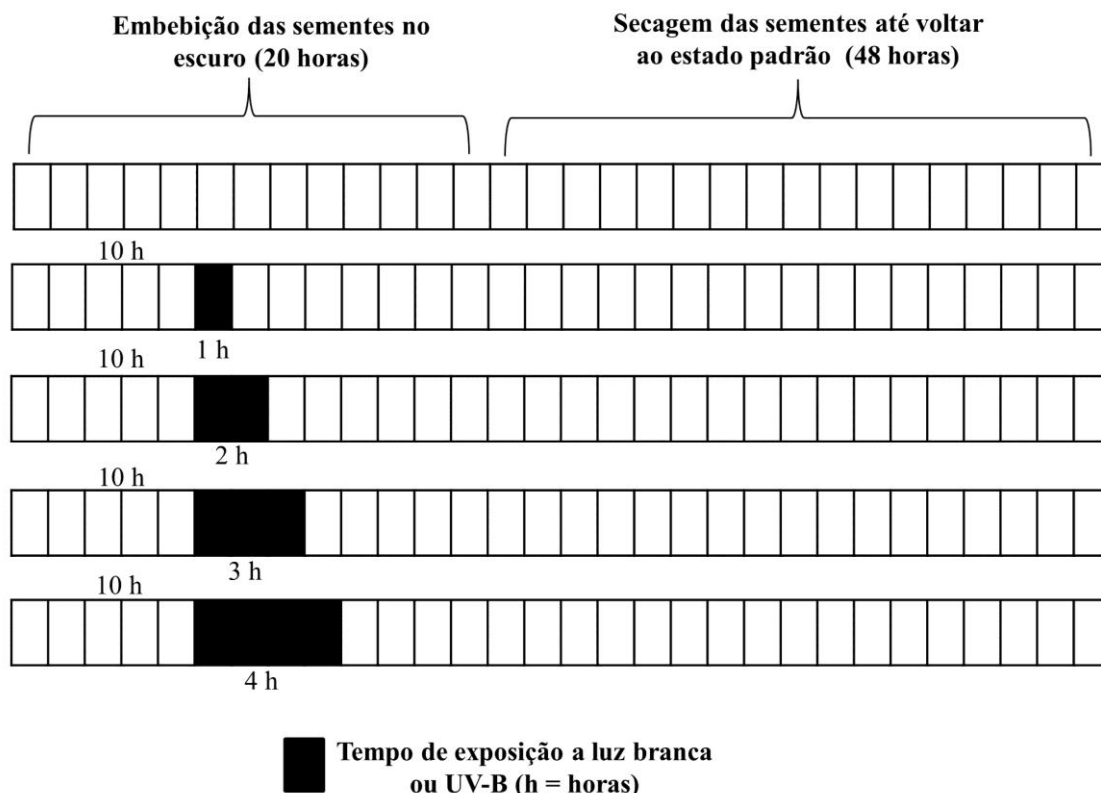


Figura 1. Esquema do pré-tratamento de sementes de tomateiro expostas à luz branca ou UV-B por um período de 0, 1, 2, 3 e 4 horas durante 20 h de embebição no escuro. No final desse período, as sementes foram postas para secar durante 48 h. Além disso, sementes permaneceram no escuro ou não foram tratadas.

Para análise de germinação, as sementes foram desinfetadas com solução de hipoclorito de sódio a 5% por 10 minutos. Posteriormente, lavadas três vezes com água destilada, onde 50 sementes (4 repetições de 50 cada tratamento) foram colocadas para germinar em caixas plásticas transparentes contendo duas folhas de papel de filtro. As sementes foram colocadas para germinar na presença de 20 ml de água destilada ou 20 mL de solução com potencial osmótico de - 0,1 MPa, o qual foi obtido com 78,49 g L⁻¹ de polietilenoglicol (PEG 6.000) (VILLELA et al., 1991).

Para análise da germinação, foi utilizado fotoperíodo de 12 horas com iluminação fornecida por luz branca (60 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-2}$), sob temperatura média de 25°C.

2.2. Avaliações da germinação de sementes

Durante 120 horas, foi avaliada, em intervalos de 12 horas, a percentagem de sementes germinadas. Para isso, foi considerada as sementes que emitiram a raiz primária (2 mm).

Além disso, foi obtido o Índice de velocidade de germinação (IVG), o qual foi calculado de acordo com a fórmula proposta por Maguire (1962).

$$IVG = \frac{G_1}{N_1} + \frac{G_2}{N_2} + \dots + \frac{G_n}{N_n}, \text{ onde:}$$

IVG = índice de velocidade de germinação.

G_1, G_2, G_n = número de plântulas computadas na primeira, na segunda e última contagens.

N_1, N_2, N_n = número de dias da sementeira à primeira, à segunda.e à ultima contagens.

O tempo (horas) médio de germinação (TMG), proposto por Labouriau (1983) como segue a fórmula abaixo.

$$TMG = \frac{\sum N_i}{\sum T_i} \text{ onde:}$$

TMG = tempo médio de germinação (dias),

N_i = número de sementes germinadas no intervalo entre cada contagem;

T_i = tempo decorrido entre o início da germinação e a i-ésima contagem.

Após 10 dias do início da germinação, foram selecionadas aleatoriamente 10 plântulas de cada repetição para as análises de crescimento. O comprimento das raízes e do hipocótilo foi realizado com um paquímetro digital. Posteriormente, as raízes e os hipocótilos das plântulas foram postos para secar por 48 horas a 40°C em estufa de circulação de ar forçada para a obtenção da massa seca. As plântulas

foram pesadas em grupos de 10, as quais foram consideradas como repetição. As medidas de massa foram realizadas utilizando uma balança analítica modelo AA 200 (Denver Instrument Company) com precisão de 0,0001g.

2.3. Determinação do teor de pigmentos

A partir dos cotilédones, foram retirados 25 mg de amostras por repetição (com amostras em duplicata) e estas foram colocadas em tubos eppendorf e acrescidos de 1,5 ml de acetona P.A. A seguir, em condições de penumbra, os tubos foram envolvidos com papel alumínio e permaneceram por 48 horas sob agitação a 60 rpm a 4 °C. Após a agitação, a solução de extração contendo os pigmentos foi utilizada para leituras nos seguintes comprimentos de onda: Clorofila a em 662 nm (A_{662}); Clorofila b em 645 nm (A_{645}) e Carotenoides (caroteno [c] + xantofilas [x]) em 470 nm (A_{470}). Para o cálculo da concentração de clorofilas (Chl) e carotenóides (Car) foram utilizadas as seguintes fórmulas, segundo LICHTENTHALER (1987):

$$C a = 11,24 [A_{661,6}] - 2,04 [A_{644,8}]$$

$$C b = 20,13 [A_{644,8}] - 4,19 [A_{661,6}]$$

$$C a + b = 7,05 [A_{661,6}] + 18,09 [A_{644,8}]$$

$$C c + x = (1000 [A_{470}] - 1,90 [C a] - 63,14 [C b]) / 214 \text{ onde:}$$

C a = Clorofila a

C b = Clorofila b

C a + b = Clorofila a + b

C c + x = Caroteno + xantofilas

A = Absorbância

O conteúdo de clorofilas totais (Chla+b) e carotenoides foi expresso em µg do pigmento por grama de massa fresca ($\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$).

Para obtenção do teor de antocianinas hipocótilos foram segmentados e, a partir deles, pesados 45 mg. O material obtido foi colocado em tubos Eppendorf (2 mL) com o acréscimo de 0,48 mL de metanol acidificado (1% de HCl, v/v). Posteriormente, as amostras permaneceram sob agitação a 60 rpm por 48 horas no escuro a 4 °C. Após este período, foram adicionados 0,36 mL de água destilada e 0,96 mL de clorofórmio. As amostras foram levadas para centrifugação por 15 minutos a 5.000 rpm, e o sobrenadante contendo antocianinas foi coletado para leitura da absorbância a 535 nm (A_{535}) (PETERS et al., 1989). Para o cálculo da concentração de antocianina foi utilizada a fórmula proposta por CARVALHO et al., 2010:

$$\text{Ant.} = A_{535}/45$$

O Conteúdo de antocianina foi expresso em μg do pigmento por grama de massa fresca ($\mu\text{g g}^{-1}$).

2.4. Delineamento experimental e análise estatística

Foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial $2 \times 5 \times 2 + 2$ (tipos de luz x tempos de exposição x sementes não tratadas (NT) na condição de água e de PEG). Cada tratamento foi composto por 4 repetições de 50 sementes cada (200 sementes cada tratamento). Os dados qualitativos obtidos foram submetidos a análise de variância e os quantitativos a regressão polinomial até 2ª ordem considerando o R^2 superior a 65%. As médias dos tratamentos de luz (branca e UV-B zero, uma, duas, três e quatro horas) foram comparadas com as do NT pelo teste de Dunnet ($p < 0,05$). Os resultados foram apresentados e discutidos em função das respostas das variáveis estudadas principalmente na condição de déficit hídrico, ressaltando que os tratamentos na condição de água foram tidos como controle em relação a condição (água x PEG).

3. RESULTADOS

A porcentagem de germinação das sementes não tratadas foi reduzida (11,5%) pela diminuição do potencial osmótico, ao passo que sementes que receberam tratamentos de luz branca ou UV-B obtiveram um incremento de sua germinação em até 17,5% em condição de déficit hídrico, mesmo as que permaneceram no escuro (tempo zero) (Figura 2). No entanto, as sementes que receberam o tratamento de luz branca por duas horas na condição de estresse, apresentaram uma diminuição na germinação, seguido de um aumento nos tempos de três e quatro horas, mesmo assim a porcentagem de germinação (90,5%) foi superior ao NT (82%), fato este também observado para condição de água (H_2O) no mesmo tratamento.

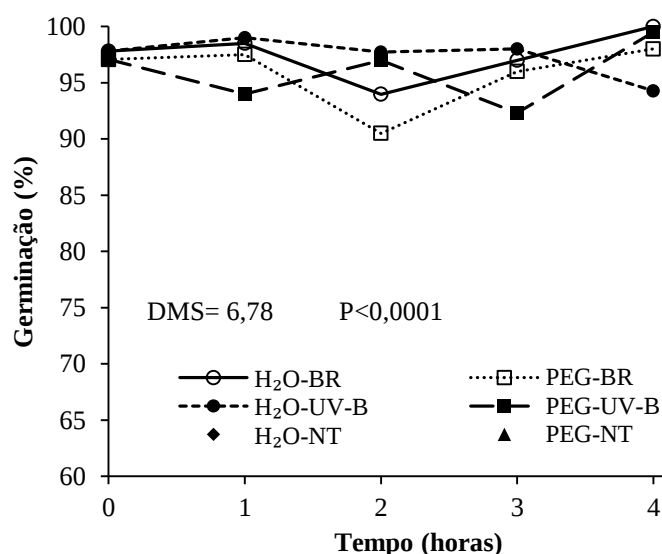


Figura 2. Porcentagem de germinação após as sementes de tomateiro permanecerem por 120 horas na presença de água (H_2O) ou em solução com potencial osmótico de - 0,1 MPa induzido com polietilenoglicol (PEG). Para isso, sementes foram expostas a luz branca (BR) e UV-B por 1, 2, 3 e 4 horas bem como permaneceram no escuro (0) ou não foram tratadas (NT). DMS= Diferença mínima significativa, Dunnet ($p < 0,05$).

Para luz UV-B na condição de estresse, a porcentagem de germinação diminuiu e aumentou de acordo com o tempo de exposição à luz, apresentando o máximo de germinação em quatro horas de exposição à luz UV-B. Enquanto na condição controle, a germinação manteve-se estável nos três períodos iniciais (uma,

duas e três horas) ocorrendo uma diminuição apenas no tratamento que recebeu quatro horas de luz, observando-se uma porcentagem de germinação menor (94,3%) que o constatado em condição de estresse (99,5%). A germinação do hidrocondicionamento (sementes que permaneceram no escuro / tempo zero de exposição a luz) permaneceu estável para as duas condições, comportando-se igualmente aos tratamentos de luz, onde todos na condição de estresse foram diferentes do NT (Figura 2).

Observou-se que os tratamentos de luz e os tempos de exposição das sementes interagiram, influenciando positivamente sobre o tempo médio de germinação (TMG), independente das duas condições (Figura 3A). Os pré-tratamentos com luz branca e UV-B promoveram os melhores resultados sob condição de água e déficit hídrico para o TMG, observando-se as melhores respostas (39,5 horas) para luz branca no tempo de quatro horas de exposição, que reduziu em 48% o TMG, em ambas as condições. A radiação UV-B no tempo de duas horas ocasionou na melhor resposta (46 horas) na redução do TMG, reduzindo em 54% o TMG na condição de estresse comparado com o NT. O TMG das sementes do tempo zero foi reduzido em 33 horas, que correspondem a uma redução 25% (18 horas) e 32% (29 horas) nos tratamentos controle e sob déficit hídrico respectivamente, comparados ao NT (Figura 3B).

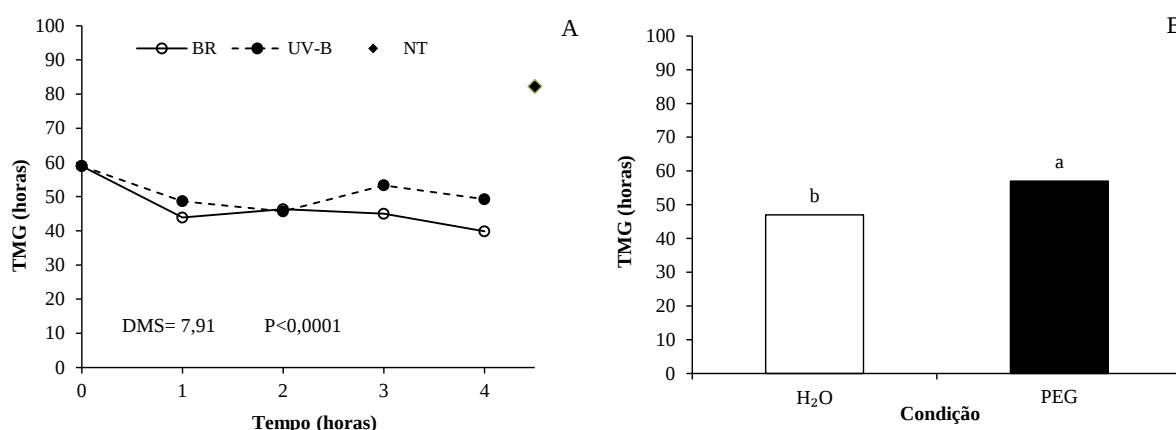


Figura 3. Tempo médio de germinação (TMG) após as sementes de tomateiro permanecerem por 120 horas na presença de água (H₂O) ou em solução com potencial osmótico de- 0,1 MPa induzido com polietilenoglicol (PEG) em função da luz e do tempo (A) e da condição (B). Para isso, sementes foram expostas a luz

branca (BR) e UV-B por 1, 2, 3 e 4 horas bem como permaneceram no escuro (0) ou não foram tratadas (NT). DMS= Diferença mínima significativa, Dunnet ($p < 0,05$).

A luz UV-B reduziu o índice de velocidade de germinação (IVG) das sementes a partir de duas horas de exposição (Figura 4A). Por outro lado, quanto maior o tempo de exposição à luz branca, maior foi o IVG, mantendo-se constante a partir das três horas, proporcionando o melhor IVG quando comparado aos demais tratamentos. As sementes mantidas no escuro apresentaram menores valores de IVG, além disso, a condição de estresse induziu a um menor IVG (Figura 4B).

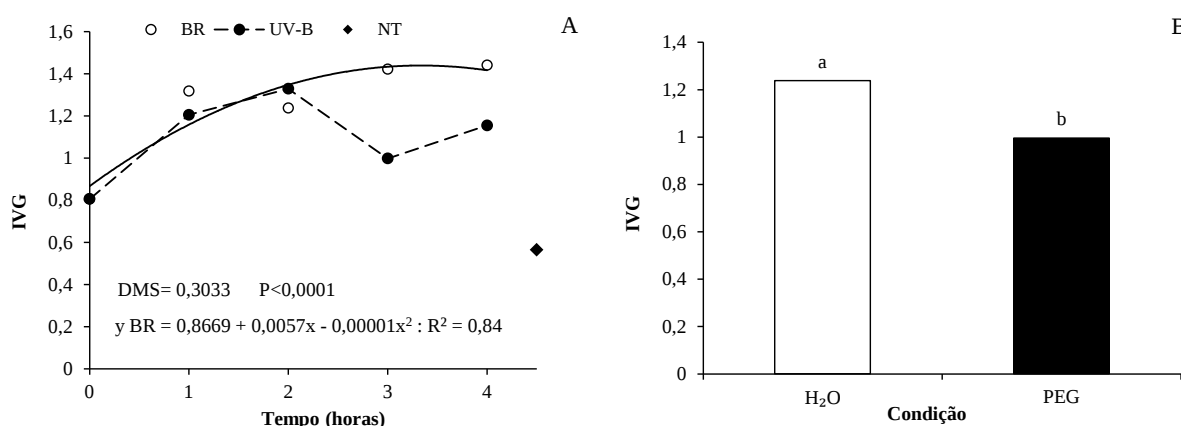


Figura 4. Índice de velocidade de germinação após as sementes de tomateiro permanecerem por 120 horas na presença de água (H₂O) ou em solução com potencial osmótico de - 0,1 MPa induzido com polietilenoglicol (PEG) em função da luz e do tempo (A) e da condição (B). Para isso, sementes foram expostas a luz branca (BR) e UV-B por 1, 2, 3 e 4 horas bem como permaneceram no escuro (0) ou não foram tratadas (NT). DMS= Diferença mínima significativa, Dunnet ($p < 0,05$).

Assim como a porcentagem de germinação, TMG e IVG, o comprimento de parte aérea (CPA) foi afetado na condição de estresse para as sementes NT (Figura 5), no entanto, nesta mesma condição todos os demais tratamentos apresentaram aumento da parte aérea. As plântulas originadas de sementes tratadas com UV-B a partir de uma hora, obtiveram um decréscimo no CPA, permanecendo estabilizado a partir de duas horas, mantendo-se igual ao NT não estressado, fato este também constatado na luz branca na condição de estresse. Entretanto, apenas o escuro se mostra eficaz para melhorar o CPA. Para a condição de água, sobre exposição a

luz, foi observado um decréscimo até duas horas do CPA, com um aumento a partir de três horas apresentando valores maiores ao observado no CPA no escuro.

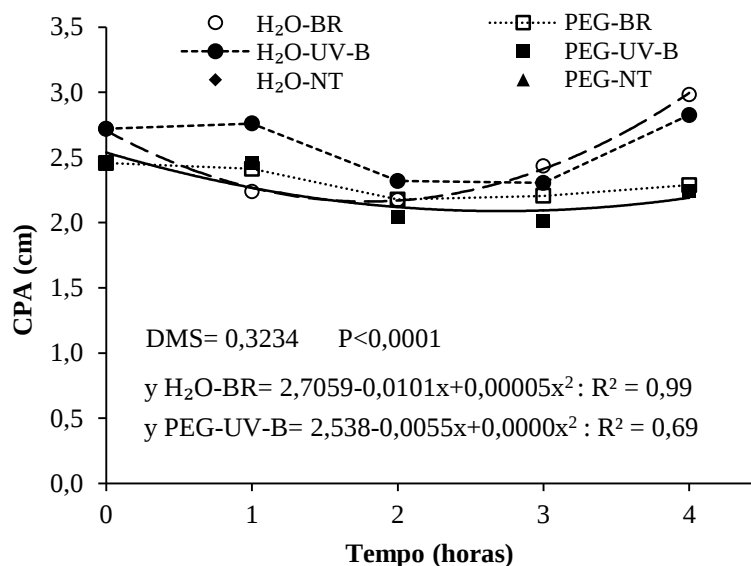


Figura 5. Comprimento de parte aérea (CPA) de plântulas de tomateiro 10 dias após a semeadura, crescidas na presença de água (H₂O) ou em solução com potencial osmótico de - 0,1 MPa induzido com polietilenoglicol (PEG). Para isso, sementes foram expostas a luz branca (BR) e UV-B por 1, 2, 3 e 4 horas bem como permaneceram no escuro (0) ou não foram tratadas (NT). DMS= Diferença mínima significativa, Dunnet (p<0,05).

Para o comprimento de raiz (CR), os maiores valores foram observados nos tratamentos de escuro e com luz branca por uma hora (Figura 6A), no entanto, à medida que o tempo de aplicação aumentou, houve uma redução contínua do CR das plântulas. A aplicação da luz UV-B até três horas reduz o CR, entretanto, quatro horas nesta mesma condição proporcionou maior desenvolvimento do CR, apresentando valores superiores ao tratamento com luz branca. A condição de germinação e crescimento das plântulas também influenciaram juntamente com o tempo sobre o CR (Figura 6B). Em água, observa-se uma diminuição no CR a partir de 1 hora, enquanto na condição de estresse, o escuro induziu o melhor CR, seguido de três e quatro horas de exposição a luz, sendo que as sementes que não receberam os tratamentos apresentam os menores CR.

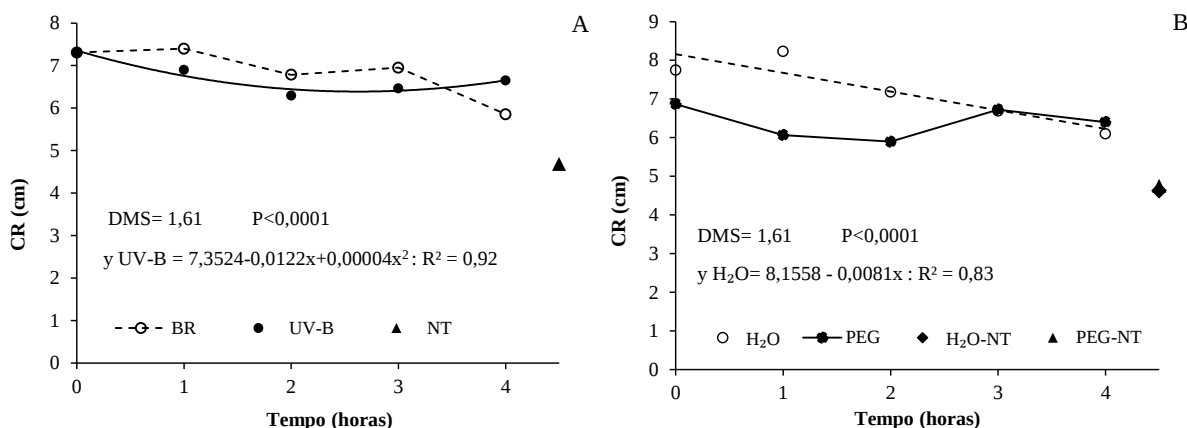


Figura 6. Comprimento de raiz (CR) em função da luz e do tempo (A) e da luz e condição (B), de plântulas de tomateiro 10 dias após a semeadura, crescidas na presença de água (H₂O) ou em solução com potencial osmótico de - 0,1 MPa induzido com polietilenoglicol (PEG) em função do tipo de luz e do tempo (A) e da condição e do tempo (B). Para isso, sementes foram expostas a luz branca (BR) e UV-B por 1, 2, 3 e 4 horas bem como permaneceram no escuro (0) ou não foram tratadas (NT). DMS= Diferença mínima significativa, Dunnet ($p < 0,05$).

Para a massa seca da parte aérea (MSPA), a condição de déficit hídrico não afetou o seu acúmulo, mesmo as plântulas do hidrocondicionamento, apresentando maior valor médio, e não diferindo das plântulas do tratamento NT (Figura 7A). Houve acúmulo de massa seca de raiz (MSR) de acordo com o tempo de exposição às luzes em ambas as condições, com uma redução da MSR a partir de três horas (Figura 7B). As plântulas oriundas das sementes tratadas por zero, duas e quatro horas de exposição a luz apresentam menor acúmulo de MSR na condição de estresse, no entanto maior MSR que a constatada na NT. Os menores resultados MSR em ambas as condições, foram observados para o NT.

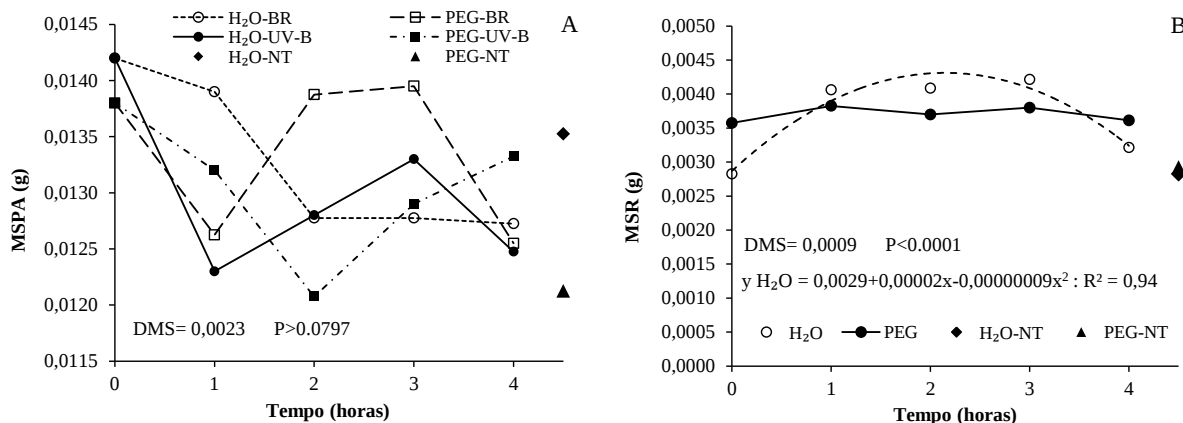


Figura 7. Massa seca de parte aérea (MSPA) (A) e Massa seca de raiz (MSR) (B), de plântulas de tomateiro 10 dias após a semeadura, crescidas na presença de água (H₂O) ou em solução com potencial osmótico de- 0,1 MPa induzido com polietilenoglicol (PEG). Para isso, sementes foram expostas a luz branca (BR) e UV-B por 1, 2, 3 e 4 horas bem como permaneceram no escuro (0) ou não foram tratadas (NT). DMS= Diferença mínima significativa, Dunnet (p<0,05).

O teor de clorofila total e carotenoides foi reduzido em função do tempo de exposição, para ambas as luzes e condições (Figura 8A e B), porém, os pré-tratamentos induziram um maior acúmulo destes pigmentos quando comparados ao NT, sendo que o hidrocondicionamento resultou no maior teor de clorofila total e carotenoides.

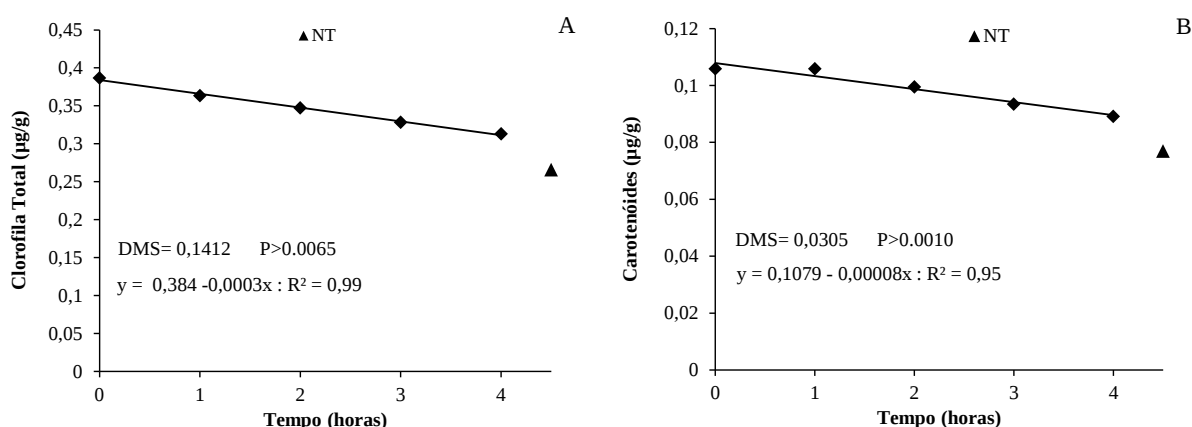


Figura 8. Teor total de clorofila (A) e carotenóides (B) em cotilédones de plântulas de tomateiro 10 dias após a semeadura, crescidas na presença de água (H₂O) ou em solução com potencial osmótico de- 0,1 MPa induzido com polietilenoglicol (PEG). Para isso, sementes foram expostas a luz branca (BR) e UV-B por 1, 2, 3 e 4 horas bem como permaneceram no escuro (0) ou não foram tratadas (NT). DMS= Diferença mínima significativa, Dunnet (p<0,05).

Os maiores teores de antocianina foram encontrados para as plântulas oriundas de sementes expostas a luz branca e UV-B por duas e três horas, respectivamente (Figura 9). A exposição das sementes à luz UV-B por uma hora, resultou em teor de antocianina inferior, mesmo quando comparado ao NT. Também houve um incremento no teor da antocianina em plântulas cujas sementes foram expostas à luz branca a partir do escuro até três horas, seguido de um decréscimo até quatro horas. O maior teor de antocianina foi registrado no tratamento de três horas de exposição das sementes à luz UV-B.

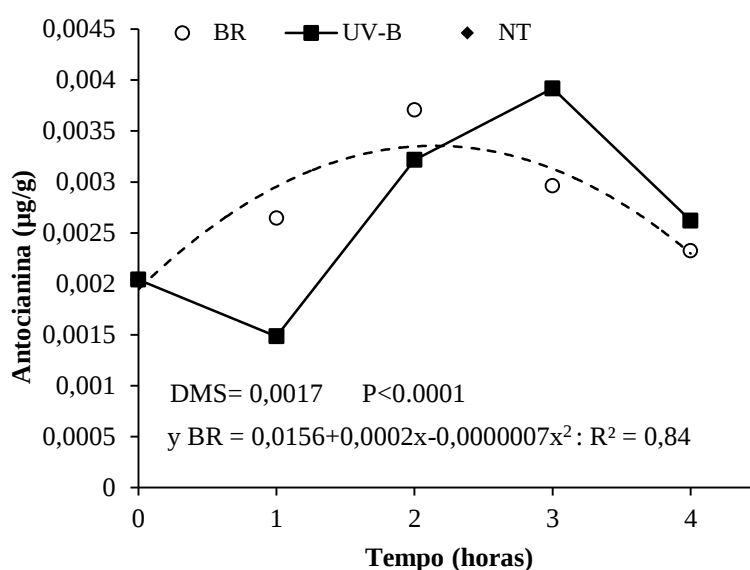


Figura 9. Teores de antocianinas no hipocótilo de plântulas de tomateiro 10 dias após a semeadura, crescidas na presença de água (H₂O) ou em solução com potencial osmótico de - 0,1 MPa induzido com polietilenoglicol (PEG). Para isso, sementes foram expostas a luz branca (BR) e UV-B por 1, 2, 3 e 4 horas bem como permaneceram no escuro (0) ou não foram tratadas (NT). DMS= Diferença mínima significativa, Dunnet (p<0,05).

4. DISCUSSÃO

Tem sido mostrado que o condicionamento fisiológico em sementes por meio de uso de soluções contendo agentes estressores, pode induzir a tolerância aos estresses abióticos. Nesse sentido, pré-tratamos sementes de tomateiro com exposições de UV-B por uma, duas, três e quatro horas, com o objetivo de melhorar

a germinação de sementes e o crescimento de plântulas em condição de déficit hídrico. De fato, plantas expostas ao UV-B podem desencadear uma série de mecanismos fotoprotetores que envolvem, por exemplo, o acúmulo de flavonóides (FAROKH et al., 2010), os quais refletem curtos comprimentos de onda ou indução do sistema antioxidante por meio de atividades de enzimas ou moléculas não enzimáticas. Além disso, recentemente foi mostrado que plântulas de alface (*Lactuca sativa* L.) que tiveram suas sementes pré-tratadas com curtos comprimentos de onda (UV-C) apresentaram maior tolerância ao estresse salino (OUHIBI et al., 2014).

Desta forma, esperava-se que os tratamentos com UV-B pudessem melhorar a germinação de sementes e o crescimento de plântulas sob condição de estresse induzido por déficit hídrico. Entretanto, embora os tratamentos com UV-B possam melhorar a porcentagem final de germinação na condição de estresse quando comparados a sementes não tratadas, a alta radiação não difere dos tratamentos com luz branca e escuro (Figura 2). Neste caso, embora os tratamentos com curtos comprimentos de onda possam modificar os mecanismos bioquímicos que controlam a germinação (FAROKH et al., 2010), surpreendentemente os tratamentos com UV-B não diferiram do escuro. Isso ocorre pelo fato de que, comparado a NT, o hidrocondicionamento da semente é suficiente para melhorar a germinação visto que é bem conhecido que a absorção de água pelas sementes é o evento que desencadeia as mudanças moleculares ou bioquímicas no processo inicial da germinação (MARCOS FILHO, 2015).

Comparado ao NT e hidrocondicionamento, foi observado que os tratamentos com luz branca e UV induziu a uma rápida e uniforme germinação de sementes quando observado o TMG (Figura 3) e o IVG (Figura 4). Desta forma, embora a germinação de sementes pré-tratadas tanto com luz branca como UV-B não tenham diferido daquelas tratadas com o escuro, ambos os tratamentos com luz parecem ser fatores importantes na redução do tempo de germinação. Certamente, esse evento envolve uma série respostas que podem ser dependentes de fotorreceptores, tais como os fitocromos. De fato, essas moléculas controlam fortemente a germinação de sementes de tomateiro. Embora tenha sido mostrado que fitocromos

possam ser parte da sinalização de respostas ao UV-B (BOCCALANDRO et al., 2001), neste trabalho isso não pode ser comprovado.

O maior comprimento da parte aérea (CPA) deve-se ao fato da rápida germinação das sementes, o que possibilita também que as raízes possam crescer de forma mais acelerada, fato este justificado por uma maior velocidade de absorção da água (Figura 5) (YAGMUR; KAYDAN 2008). Esse fenômeno ocorre devido ao aparecimento mais rápido das raízes e da parte aérea, romovendo o crescimento de plântulas mais vigorosas e com maior tolerância ao déficit hídrico (LEE-SUSKOON et al., 1998). Apesar da exposição das sementes à luz ter se mostrado eficaz no aumento do CPA sob déficit hídrico, somente o hidrocondicionamento foi suficiente para melhorar o CPA (Figura 5), sendo este, até mesmo superior ao tratamento de luz UV-B por duas e três horas de exposição na ausência do estresse. Entretanto, o maior crescimento das plântulas que se originaram de sementes pré-tratadas não resultou em acúmulo significativo de MSPA quando comparado ao NT (Figura 7A), porém, as sementes hidrocondicionadas e que receberam tratamentos de luz branca por duas e três horas tendem a um maior acúmulo de MSPA na condição de déficit hídrico, o que não foi observado para MSR, onde este manteve-se estável, com valores de MSR maiores que o NT (Figura 7B).

Por conta das mudanças climáticas, em especial, as alterações na camada de ozônio, está ocorrendo uma maior incidência da radiação UV-B na superfície da terra, por este motivo, pesquisas tem sido realizadas para se obter conhecimento sobre o efeitos desta radiação na germinação de sementes (NOBLE, 2002; FAROKH et al., 2010; SUGIMOTO, 2013), NOBLE (2002) e FAROKH et al. (2010) constataram que a exposição das sementes a UV-B durante a germinação acelera este processo, entretanto, foi percebido alterações morfológicas nas plântulas, como diminuição do hipocótilo, enrolamento e diminuição da radícula. Por outro lado, não foram percebidas alterações morfológicas nas plântulas condicionadas sob a radiação UV-B, o que reforça a tese de que os efeitos danosos variam entre as espécies, tempo e fase de exposição (HOFMANN ; CAMPBELL, 2011; SUGIMOTO, 2013; HOCH et al., 2015).

A exposição das sementes a luz, em ambas as condições, resultou em uma menor síntese de clorofila e carotenóides pelas plântulas (Figura 8A - B), contudo os

pré-tratamentos aumentaram os teores de clorofila e carotenóides nas plântulas. Ambos os pigmentos são tidos como indicadores de estresses e desempenham papéis relacionados ao auxílio na captação de energia luminosa e proteção contra danos oxidativos (JALEEL et al., 2009; AHMAD et al., 2010; ZHU et al., 2014). Os maiores teores de antocianina (Figura 9) pode indicar uma resposta ao estresse, com isso, esperávamos encontrar teores de antocianina mais elevados em plântulas que tiveram origem de sementes pré-tratadas com UV-B, por se tratar de uma radiação altamente energética e, como defesa a essa radiação as plantas produzem mais fitoquímicos, entre eles a antocianina, que ajuda a dissipar a energia desta radiação (RUHLAND; DIA, 2000; XIONG; DAY, 2001; STAAIJ et al., 2002). Porém, a luz branca também proporcionou um aumento na quantidade de antocianina (Figura 9), o que pode nos levar a crer que, a exposição das sementes por um tempo de uma, duas, três e quatro horas não seja suficiente para causar reações que levem a um maior acúmulo de antocianina.

5. CONSIDERAÇÕES

Visto que o objetivo nesse trabalho foi induzir tolerância do tomateiro ao déficit hídrico por meio de pré-tratamentos de sementes com UV-B, concluímos que a luz, independente do comprimento de onda, pode melhorar a germinação de sementes e o crescimento do tomateiro na presença do estresse. Entretanto, comparado a luz branca, se o tempo máximo de exposição ao UV-B não foi suficiente para induzir tolerância ao déficit hídrico, essa questão pode ser elucidada em futuros trabalhos.

6. REFERÊNCIAS

AHMAD, P.; JALEEL, C. A.; SALEM, M. A.; NABI, G.; SHARMA, S. Roles of enzymatic and non-enzymatic antioxidants in plants during abiotic stress. **Critical Reviews in Biotechnology**, v. 30, p. 161-175, 2010.

Al-MUDARIS, M. A.; JUTZI, S. C. The Influence of fertilizer based seed priming treatments on emergence and seedling growth of sorghum bicolor and pennisetum glaucum in pot trials under greenhouse conditions. **Journal Agronomy and Crop Science**, v. 71, p. 024-030, 1999.

AMOOAGHAIE, R.; NIKZAD, K. The role of nitric oxide in priming-induced low-temperature tolerance in two genotypes of tomato. **Seed Science Research**, v. 23, p. 123-131, 2013

BAKHT, J.; SHAFI, M.; JAMAL, Y.; SHER, H. Response of maize (*Zea mays* L.) to seed priming with NaCl and salinity stress. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 9, p. 252-261, 2011.

BEGUM, N.; GUL, H.; HAMAYUN, M.; RAHMAN, I. U.; IJAZ, F.; IQBAL, Z.; AFZAL, A.; AFZAL, M.; ULLAH, A.; KARIM, S. Influence of seed priming with ZnSO₄ and CuSO₄ on germination and seedling growth of *Brassica rapa* under NaCl stress. **Middle- East Journal of Scientific Research**, v. 22, p. 879-885, 2014.

BEWLEY, J. D.; BLACK, M. **Seeds: physiology of development and germination**. New York: Plenum Press, 1994, 445p.

BOCCALANDRO, H. E.; MAZZA, C. A.; MAZZELLA, M. A.; CASAL, J. J.; BALLARÉ, C. L. Ultraviolet B radiation enhances a phytochrome-B mediated photomorphogenic response in arabidopsis. **Plant Physiology**, v. 126, p. 780–788, 2001.

BRADFORD, K. J. Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. **Horticultural Science**, v. 21, p. 1105–1112, 1986.

CALVO-POLANCO, M.; SÁNCHEZ-ROMERA, B.; AROCA, R. Mild salt stress conditions induce different responses in root hydraulic conductivity of *Phaseolus vulgaris* over-time. **Plos One**, v. 9, e90631, 2014.

CARVALHO, R. F.; PIOTTO, F. A.; SCHMIDT, D.; PETERS, L. P.; MONTEIRO, C. C.; AZEVEDO, R. A. Seed priming with hormones does not alleviate induced oxidative stress in maize seedlings subjected to salt stress. **Scientia Agricola**, v. 68, n. 5, p. 598-602, 2011.

CARVALHO, R. F.; QUECINI, V.; PERES, L. E. P. Hormonal modulation of photomorphogenesis-controlled anthocyanin accumulation in tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv Micro-Tom) hypocotyls: Physiological and genetic studies. **Plant Science**, v. 178, p. 258-264, 2010.

CHAPMAN, N.; WHALLEY, W. R.; LINDSEY, K.; MILLER, A. J. Water supply and not nitrate concentration determines primary root growth in Arabidopsis. **Plant Cell Environ**, v. 34, p. 1630-1638, 2011.

CUSHMAN, J. C.; BOHNERT, H. J. Genomic approaches to plant stress tolerance. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 3, p. 117–124, 2000.

DAI, Q.; UPADHYAYA, M. K. Seed germination and seedling growth response of selected weedy species to ultraviolet-B radiation. **Weed Science**, v.50, p. 611–615, 2002.

DAI, A. Drought under global warming: a review. **Wiley Interdiscip. Reviews: Climate Change**, v. 2, p. 45-65, 2011.

DEMIR, I., OZUAYDIN, I., YASAR, F.; VAN STADEN, J. Effect of smoke-derived butenolide priming treatment on pepper and salvia seeds in relation to transplant quality and catalase activity. **South African Journal of Botany**, v. 78, p. 83-87, 2012.

ELOUAER, M. A.; HANNACHI, C. Seed priming to improve germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius*) under salt stress. **EurAsian Journal of BioSciences**, v. 6, p. 76-84, 2012.

FAROKH, P.; MAHMOODZADEH, H.; SATARI, T.N. Response of Seed Germination of Safflower to UV-B Radiation. **Research Journal and Enviromental Sciences**, v. 4, p. 70-74, 2010.

FAROOQ, M.; IRFAN, M.; AZIZ, T., AHMAD, I.; CHEEMA, S.A. Seed Priming with Ascorbic Acid Improves Drought Resistance of Wheat. **Journal Agronomy and Crop Science**, v. 199, p. 2–22, 2013.

FLOWERS, T. J.; GARCIA, A.; KOYAMA, M.; YEO A. R. Breeding for salt tolerance in crop plants-the role of molecular biology. **Acta Physiologiae Plant**, v. 19, p. 427–433, 1997.

FLOWERS, T. J.; KOYAMA, M. L.; FLOWERS, S. A.; SUDHAKAR, C.; SINGH, K. P.; YEO, A. R. QTL: their place in engineering tolerance of rice to salinity. **Journal Experimental Botany**, v. 51, p. 99-106, 2000.

GALHAUT, L.; LESPINAY, A.; WALKER, D. J.; BERNAL, M. P.; CORREAL, E.; LUTTS, S. Seed priming of *Trifolium repens* L. improved germination and early seedling growth on heavy metal-contaminated soil. **Water Air Soil Pollut**, v. 225, p. 1905-1906, 2014.

GRANIER, C.; TARDIEU, F. Water deficit and spatial pattern of leaf development. Variability In responses can be simulated using a simple model of leaf development. **Plant Physiology**, v. 119, p. 609-619, 1999.

HEYDARIYAN, M.; BASIRANI, N.; SHARIFI-RAD, M.; KHMMARI, I.; POOR, S.R. Effect of Seed Priming on Germination and Seedling Growth of the Caper (*Capparis spinosa*) Under Drought Stress. **International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research**, v. 2, p. 2381-2389, 2014.

HOCHBERG, U.; DEGU, A.; FAIT, A.; RACHMILEVITCH, S. Near isohydric grapevine cultivar displays higher photosynthetic efficiency and photorespiration rates under drought stress as compared with near anisohydric grapevine cultivar. **Physiologia Plantarum**, v. 147, p. 443–452, 2013

HOCK, M.; BECKMANN, M.; HOFMANN, R. W.; BRUELHEIDE, H.; ERFMEIER, A. Effects of UV-B radiation on germination characteristics in invasive plants in New Zealand. **NeoBiota**, v. 26, p. 21–37, 2015.

HOFMANN, R. W.; CAMPBELL, B. D. Response of *Trifolium repens* to UV-B radiation: morphological. **Plant Biology**, v. 13, p. 896–901, 2011.

JALEEL, C.A.; GOPI, R.; MANIVANNAN, P.; GOMATHINAYAGAM, M.; KSOURI, R.; JALLALI, I.; ZHAO, C.; SHAO, H.; PANNEERSELVAM R. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 31, p. 427–436, 2009.

JISHA, K. C.; VIJAYAKUMARI, K.; PUTHUR, J. T. Seed priming for abiotic stress tolerance: an overview. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 35, p. 1381–1396, 2013.

KRIZEK, D. T. Influence of ultraviolet radiation on germination and early seedling growth. **Physiologia Plantarum**, v. 34, p. 182–186, 1975.

LEACH, K. A.; HEJLEK, L. G.; HEARNE, L. B.; NGUYEN, H. T.; SHARP, R. E.; DAVIS, G. L. Primary root elongation rate and abscisic acid levels of maize in response to water stress. **Crop Science**, v. 51, p. 157-172, 2011.

LABOURIAU, L. G. **A germinação das sementes**. Washington: Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos, 1983. 174p.

LEE-SUSKON, K. M.; HYEUM, J.; BEOM, H. S.; MINKYEONG, K.; EUIHO, P. Optimum water potential, temperature and duration for priming of rice seeds. **Journal Crop Science**, v. 43, p. 1-5, 1998.

LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in Enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in and evaluation for seedling emergence and vigour. **Crop Science**, v. 2, p. 176-177, 1962.

MAHDAVI, B.; RAHIMI, A. Seed priming with chitosan improves the germination and growth performance of ajowan (*Carum copticum*) under salt stress. **Eurasian Journal of Biosciences**, v.7, p. 69-76, 2013.

MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Piracicaba: FEALQ, 2015, 660p.

MEYER, E.; ASPINWALL, E. M. J.; LOWRY, D. B.; PALACIO-MEJÍA, J. D.; LOGAN, T. L.; FAY, P. A.; JUENGER, T. E. Integrating transcriptional, metabolomic, and physiological responses to drought stress and recovery in switchgrass (*Panicum virgatum* L.). **BMC Genomics**, v. 15, p. 527-542, 2014.

NAWAZ, F.; ASHRAF, M. Y.; AHMAD, R.; WARAICH, E. A. Selenium (Se) Seed priming induced growth and biochemical changes in wheat under water deficit conditions. **Biological Trace Element Research**, v. 151, p. 284-293, 2012.

NOBLE, R. E. Effects of UV-irradiation on seed germination. **The Science of the Total Environment**, v. 299, p. 173-176, 2002.

PAPARELLA, S. S.; ARAÚJO, S. S.; ROSSI, G.; WIJAYASINGHE, M.; CARBONERA, D.; BALESTRAZZI, A. Seed priming: state of the art and new perspectives. **Plant Cell Reports**, v. 34, p. 1281-1293, 2015

OUHIBI, C; ATTIA, H.; REBAH, F.; MSILINI, N.; CHEBBI, M.; AARROUF, J.; URBAN, L.; LACHAAL, M. Salt stress mitigation by seed priming with UV-C in lettuce plants: Growth, antioxidant activity and phenolic compounds. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 83, p. 126-133, 2014.

PATADE, V.Y., KHATRI, D., MANOJ, K., KUMARI, M. AND AHMED, Z. Cold tolerance in thiourea primed capsicum seedlings is associated with transcript regulation of stress responsive genes. **Molecular Biology Reports**, v. 39, p. 10603-10613, 2012.

PETERS, J. L.; VAN TUINEN, A.; ADAMSE, P.; KENDRICK, R. E.; KOORNNEEF, M. High pigment mutants of tomato exhibit high sensitivity for phytochrome action. **Journal of Plant Physiology**, v. 134, p. 661-666. 1989.

PROM-U-THAI, C.; RERKASEM, B.; YAZICI, A.; CAKMAK, I. Zinc priming promotes seed germination and seedling vigor of rice. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 175, p. 482-488, 2013.

QAZI, H. A.; RAO, P. S.; KASHIKAR, A.; SUPRASANNA, P.; BHARGAVA, S. Alterations in stem sugar content and metabolism in sorghum genotypes subjected to drought stress. **Functional Plant Biology**, v. 41, p. 954-962, 2014.

REHMAN, H.; FAROOQ, M.; BASRA, S. M.A. AND AFZAL, I. Hormonal priming with salicylic acid improves the emergence and early seedling growth in cucumber. **Journal of Agriculture and Social Sciences**, v. 7, p. 109–113, 2011.

RUHLAND, C. T.; DAY, T. A. Effects of ultraviolet-B radiation on leaf elongation, production and phenylpropanoid concentration of *Deschampsia antarctica* and *Colobanthus quitensis* in Antarctica. **Physiolia Plantarum**, v. 109, p. 244-251, 2000.

SALAMA, K. H. A.; MANSOUR, M. M .F.; HASSAN, N. S. Choline Priming Improves Salt Tolerance n Wheat (*Triticum aestivum* L.). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 5, p. 126-132, 2011.

SANTHY, V.; MESHRAM, M.; WAKDE, R.; KUMARI, P.R.V. Hydrogen peroxide pre-treatment for seed enhancement in Cotton (*Gossypim hirsutum* L.). **African Journal of Agricultural Research**, v. 9, p. 1982-1989, 2014.

SARDANS, J.; PEÑUELAS, J. Plant-soil interactions in Mediterranean forest and shrublands: impacts of climatic change. **Plant Soil**, v. 365, p. 1-33, 2013

SELLIN, A.; NIGLAS, A.; ÕUNAPUU-PIKAS, E.; KUPPER, P. Rapid and long-term effects of water deficit on gas exchange and hydraulic conductance of silver birch trees grown under varying atmospheric humidity. **Plant Biology**, v. 14, p. 72-84, 2014.

SHARAFIZAD, M.; NADERI, A.; SIADAT, S. A.; SAKINEJAD, T.; LAK., S. Effect of salicylic acid pretreatment on germination of wheat under drought stress. **Journal of Agricultural Science**, v. 5, p. 179-199, 2013.

SINGH, A.; DAHIRU, R.; MUSA, M.; SANI, H. B. Effect of osmopriming duration on germination, emergence, and early growth of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) in the Sudan Savanna of Nigeria. **International Journal of Agronomy**, v. 2014, p. 1-4, 2014.

SKIRYCYZ, A.; INZÉ, D. More from less: plant growth under limited water. **Current Opinion in Biotchnology**, v. 21, p. 197-203, 2010

STAAIJ, J. V.; BAKKER, N. V.; OOSTHOEK, A. R.; BROEKMAN, A.; BEEM, A. V.; STROETENGA, M.; AERTS, R.; ROZEMA, J. Flavonoid concentration in three grass species and a sedge grown in the field and under controlled environment conditions in response to enhanced UV-B radiation. **Journal of photochemistry and photobiology. B, Biology**, v. 66, p. 21-29, 2002.

SUGIMOTO, K. Seed germination under UV-B irradiation. **Minami Kyushu University**, v. 43a, p. 1-9, 2013

SUN, Y. Y.; SUN, Y. J.; WANG, M. T.; LI, X. Y.; GUO, X.; HU, R.; MA, J. Effects of seed priming on germination and seedling growth under water stress in rice. **Acta Agronomica Sinica**, v. 36, p. 1931-1940, 2010.

TEVINI, M.; THOMA, U.; IWANZIK W. Effects of enhanced UV-B radiation on germination, seedling growth, leaf anatomy and pigments of some crop plants. **Zeitschrift für Pflanzen-physiologie**, v. 109, p. 435–448, 1983.

TOSELLI, M. E.; CASENAVE, E. C. Is the enhancement produced by priming in cotton seeds maintained during storage. **Bragantia**, v. 73, p. 372-376, 2014.

TOSSERAMS, M., BOLINK, E.; ROZEMA, J. The effect of enhanced ultraviolet-B radiation on germination and seedling development of plant species occurring in a dune grassland ecosystem. **Plant Ecology**, v. 128, p. 139–147, 1997.

VILLELA, F. A.; DONI FILHO, L.; SEQUEIRA, E. L. Tabela de potencial osmótico em função da concentração de polietilenoglicol 6.000 e da temperatura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p. 11-12, 1991.

XIONG, S. F.; DAY, T. A. Effect of solar ultraviolet-B radiation during springtime ozone depletion on photosynthesis and biomass production of antarctic vascular plants. **Plant Physiology**, v. 125, p. 738-751, 2001.

YAGMUR, M.; KAYDAN, D. Alleviation of osmotic strength of water and salt in germination and seedling growth of triticale with seed priming treatments. **Afr J Biotechnol**, v. 7, p. 2156–2162, 2008.

ZHANG, S.; HU, J.; ZHANG, Y.; XIE, X. J.; KNAPP, A. Seed priming with brassinolide improves lucerne (*Medicago sativa* L.) seed germination and seedling growth in relation to physiological changes under salinity stress. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 58, p. 811-815, 2007.

ZHU, M.; CHEN, G.; ZHANG, J.; ZHANG, Y.; XIE, Q.; ZHAO, Z.; PAN, Y.; HU, Z. The abiotic stress-responsive Nac-type transcription factor SINAC4 regulates salt and drought tolerance and stress-related genes in tomato (*Solanum lycopersicum*). **Plant Cell Reports**, v. 33, p. 1851-1863, 2014.